تابعونا على:
ملتقى مهندسي الوقاية والاختبارات الكهربية
https://www.facebook.com/groups/ahmd1awd/

Ch. 8 . Transformer Protection.

Introduction :. The Transformer consider The one of The important element in Electrical net work.

تعتبر المولدات من عنصر الزجاجة بالنسبة للشبكة الكهربية والذى سنفترض بتم حمايتها بـ power لكل فروع الشبكة وايد غياب هذا العنصر يؤثر تأثيراً كبيراً على اداء الشبكة الكهربية .

Transformer faults -ie. short circuits - are The result of internal electrical faults, The most common one being The phas-to-ground fault. Somewhat less common are The Turn-To-Turn faults.

The physical extent of a transformer is limited To with in a substation, and consquently differential relaying, The most desirable form of protection available can be used To protect Transformer. In general, a transformer may be protected by fuses, over current relays, differential Relay, pressure relays, and can be "monitord يُراقب" For incipient Trouble with The help of winding Tempreture measurements, and chemical analysis of The gas above The insulating oil.

أولاً . كيف يتم حماية المحول وكيف يتم وضع الـ setting ؟

. The Types of protection for Transformer depends upon.

1. Transformer Size Rating.
2. location and function.
3. Voltage.
4. Connection and design.

تعتمد نوع الحماية التي نستخدمها لحماية المحول على (Size) لهذا المحول أي الـ Rating أي كام (VA).

← قبل البدء في الحديث عن هذه العوامل نقوم بعرض نبذة مختصرة عن أنواع عزل المحولات.

توجد أربع طرق تستخدم لعزل المحولات عن بعضها.

① Dry Type Transformer. أي عزل هذا المحول عبارة عن الهواء الجاف (Dry) أو نستخدم الـ Resien وتستخدم هذه المحولات في التوزيع "Distribution Transformer." هذه المحولات لا نستخدم فيها أي مواد سائلة توضع في الأماكن التي تخشى أن يحدث بها حريق فقط.

② Air Transformer. أي يستخدم الهواء كعازل له.

③ Oil Transformer. وفيه توضع الملفات داخل خزان معدني مملوء بالزيت وكلاهما عليك مشكلات خطيرة عن مشكلة الرطوبة ويقال أن المحول "يتنفس" أي يخرج (Co2) وبالتالي لابد من سحب هذه الرطوبة وتتم ذلك بوضع مادة موجودة على جانب المحول عليها مادة تسمى بالـ "Silica gel" تقوم هذه المادة بسحب الرطوبة من المحول.

④ SF6 Transformer. وفيها تتم عزل المحول بسادس فلوريد الكبريت ويوضع هذه المحولات بالأندف أو بالبادد وتوضع في الأماكن التي يحدث بها حريق.

---

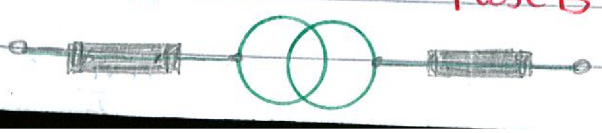
① Transformer Size:: محايه المحولات تعتمد على الـ Rating لهذه المحولات أي تتم وضع نظام الحماية "protection schemes" على أساس الـ Rating.

Transformer with capacity less than 2500 kVA are usually protect by fuses.

∴ Rating ≤ 2.5 MVA

Distribution Transformer.

هذه المحولات دائماً تكون محولات توزيع يتم حمايه هذه الأنواع باستخدام الفيوز "Fuse"



∴ Transformer with rating between "2.5 MVA" and "5 MVA" The Transformer may be protect with "fuses" but instantanous and time delay overCurrent relay may be more desirable from the stand point of sensitivity and coordination with protective relays on the high and low sides of Transformer.

⇒ 2.5 MVA ≤ Rating ≤ 5 MVA

(fuses + O.C.R) في هذا النوع من الحالات يستخدم

O.C.R (T.D O.C.R (51) or INST O.C.R (50))

∴ Transformers with rating between "5 MVA" and "10 MVA" an induction disc overCurrent relay connected in differential configuration is usually applied.

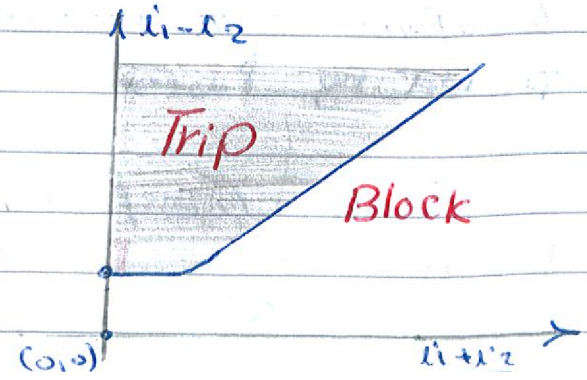
5 MVA ≤ Rating ≤ 10 MVA

overCurrent + differential Relay with overcurrent element. في هذا النوع يستخدم

∴ Transformer above "10 MVA", harmonic restraint percentage differential relay is recommended, pressure and tompreture relay are also usually applied with this size Transformer.

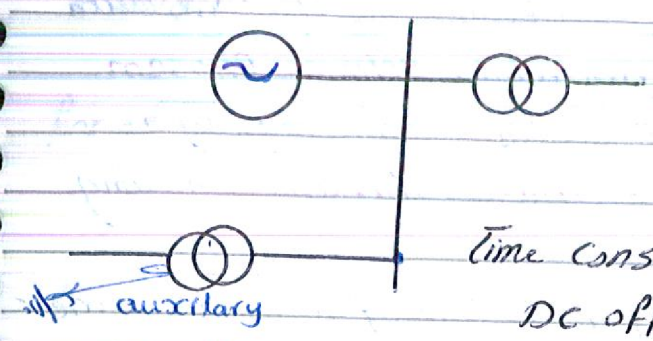
∴ Rating > 10 MVA

∴ use percentage differential Relay.



② Location and function.

المقصود بهذا العنوان أهمية إنشاء أو لا منعه إنشاء بيت في الجوار.



Auxilary و Fault يعني لو حصل أي الاثنين على كهول ؟

الـ $\frac{x}{R}$ تكون كبيرة جداً بالنسبة لـ Time constant
DC offset تكون عالية جداً بالنسبة لـ
سوف تستمر في الشبكة لمدة طويلة

∴ DC offset in the S.C Current will high and stay along time.

بالنسبة لأهمية هذا الجوار على الرغم من صغر الـ Rating لا إذا أننا نحتاج نختار أفضل جهاز حماية لهذا الجوار.
Rating يعني على جوار الـ Rating 2.5MVA يتم وضع جهاز حماية لهذا الجوار
في مثال (500MVA).

. Differential relay with harmonic restraint

③ Voltage.

Generally, The higher voltages demand the more sophisticated and costly protective devices. due to the deleterious effect of a delayed fault clearing on the system performance, and the high cost of Transformer repair

كلما زاد أهمية كبيرة جداً في تحديد جهاز الحماية للجوار كلما الجهد يزيد عن أنه نحتاج إلى fast protection scheme تكون.

Connection and Design.

Connection يقصد بها طريقة توصيل الملفات للجوار. (Δ Y , Y Δ , Δ Δ .....)

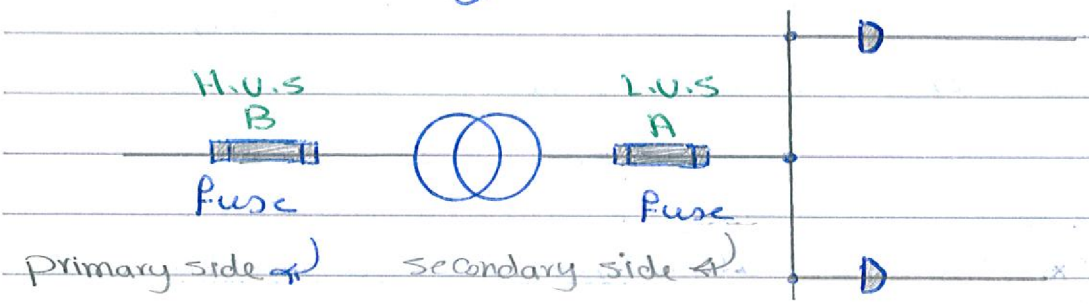
- auto Transformer
- 1.φ or 3φ Transformer.

أنواع design المقصود بها أنواعه.

The protection schemes will vary considerably between auto Transformers, and 2 or 3 winding Transformers, The winding connection of a three-phase Transformer - whether delta or wye will make a difference in protection scheme chosen Also important are the presence of tertiary winding, type of grounding used, Tap Changers, or phase-shifting winding

. Over Current protection. protection for Transformer can be provided by high-side fuses, instantaneous and time-delay over current relays. or differential relays.

∴ protection with fuses. As mentioned earlier, fuses are not used To protect Transformers with rating above 2.5 MVA.

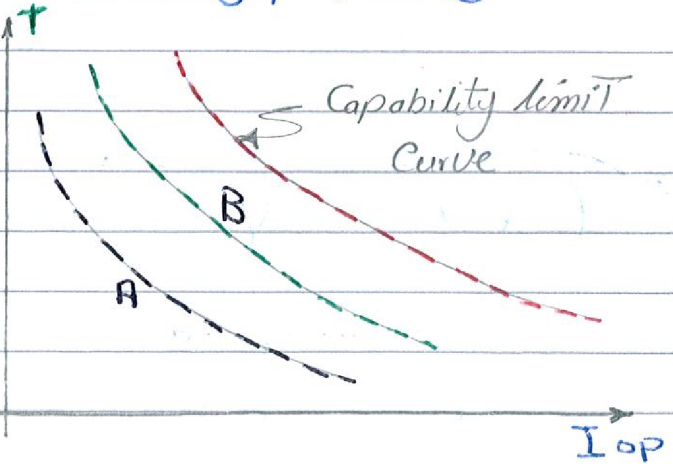


⚠ ما المقصود بال (Capability limit Curve) ؟

هو المنحنى الذي إذا تعديته فإنه المعزل سوف ينفجر . بحيث اهتزازات Vibration ومعادلة ذلك .....

لو فرضنا أنه حدث عطل fault في low voltage side فالمفروض أنه fuse (A) أن يفصل أولاً لأنه speed factor عالي جداً.

operating time of fuse (B) must be longer than operating time fuse (A)



speed factor = speed ratio of the fuse is defined as the ratio between the minimum melt current values at two widely separated times.

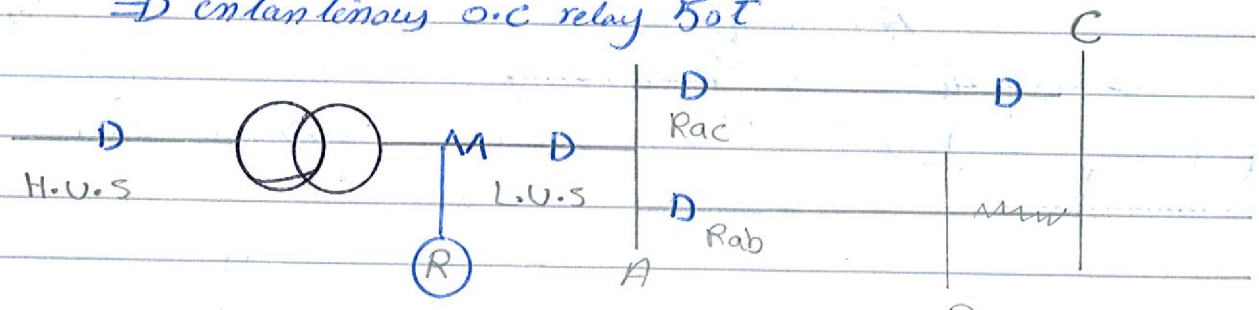
for example. speed factor = $\frac{\text{current at 0.1 sec}}{\text{current at 100 sec.}}$

Time-delay over current Relays. (51T)

protection against excessive overload, or presisting external fault, is provided by time-delay over current Relay. The pick up setting is usually (115%) of the maximum over load acceptable.

This margin covers the uncertainty in the C.T. relays and their calibration.

⇒ Time delay O.C relay 51T
⇒ Instantenous O.C relay 50T



* نستخدم O.C لحماية .
(1) الحمل الزائد (over load)
(2) لو حصلنا fault في T.L لازم يتم عزله بأسرع وقت ممكن فشل الـ O.C لشغل ويعمل كـ back up لـ T.L .

⚠ دائماً الـ over load في الحولات تكون
↳ 115% of the max allowable load.

Setting of 51T (T.D.O.C.R).

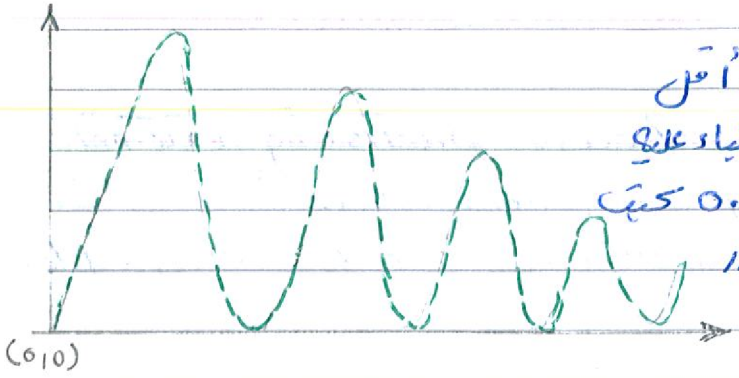
115% of the max (over load) allowable load.
أنا عايزة الـ time dial curve اللي هيعدي عليه الـ fault في أسرع وقت

Note C.T selection, is selected based on The rated Current.

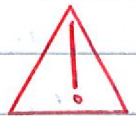
***

ماهو تيار الـ " Inrush Current ؟

هو التيار الذي يمر في البداية لحظة إغلاق هذا التيار يصل الى
(8 → 10 In) normal load Current of Trans former.



هذا التيار لازم ليتوفى " die " في زمن أقل من زمن الـ " O.C Relay " وذلك عشان
يتم تغيير الـ Time dial لـ O.C.R بحيث أنه لايعمل على inrush Current.

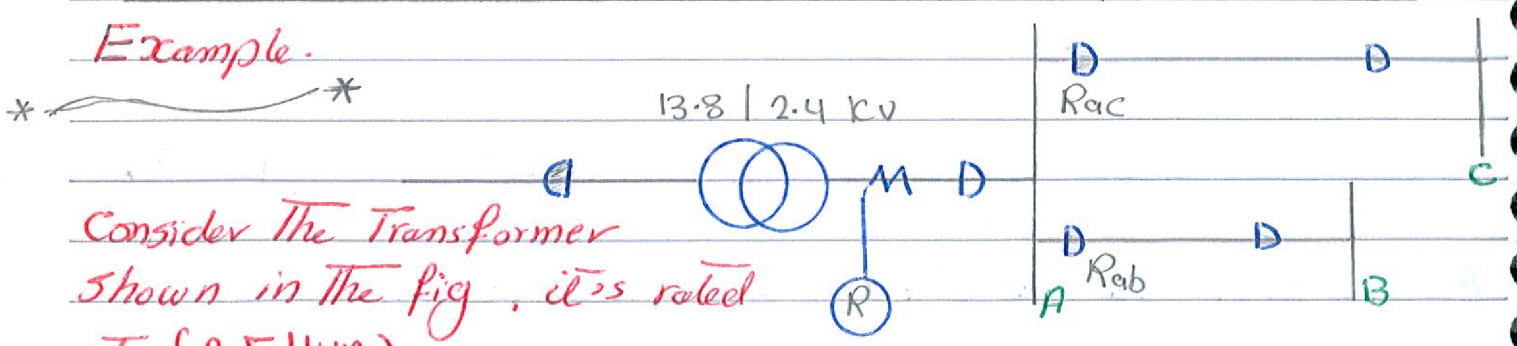


لماذا نقوم لستجد الحول أن عمل " energizing " لـ محولات كهربائية ؟

أولاً ، $AT_{primary} = AT_{secondary}$.

بالتالي إذا تم عمل energizing لمحول AT ابتدائي لابد عدد
لفات ألير $N_2 >> N_1$ بالتالي تزيد التيار ويقل ($N \propto \frac{1}{I}$)

Example.



Consider The Transformer shown in The fig, it's rated at (2.5MVA).
With primary and secondary voltage (13.8 | 2.4 KV)
120 % overload (get Ip & Is)

$\therefore S_{3\phi} = \sqrt{3}\, I_p \cdot V_p = \sqrt{3}\, I_s \cdot V_s$

$\therefore I_{pri} = \frac{2.5 * 10^6}{\sqrt{3} * 13.8 * 10^3} = 104.59$ Amp.

$\therefore I_{sc} = \frac{2.5 * 10^6}{\sqrt{3} * 2.4 * 10^3} = 601.4$ Amp.

$\therefore$ For primary setting for (51T)

$\therefore$ 115% $* I_{p.max} = 1.15 * I_{prim.max}$.

$\therefore I_{primary\ max} = 120\% * I_{pri} = 1.2 * 104.6 = 125.5$ A

Primary setting for 51T $= 1.15 * 125.5 = 144.3$ Amp

$\therefore$ we must select the C.T Ratio $\therefore$ ncp = To be selected as the nearst standered C.T Ratio based on full load Current

$n_{cp} = \frac{150}{5}$ Primary side.

. For the secondary side .

$\therefore I_s = 601.4$ Amp. (full load)

$\therefore I_{sec.Max} = 1.2 * I_{sec}$

$= 1.2 * 601.4 = 720$ Amp

The pick up current for the secondary side is

$\therefore 1.15 * I_{s.max} = 828$ Amp.

Select $\therefore n_{cs}$ based on full load current.

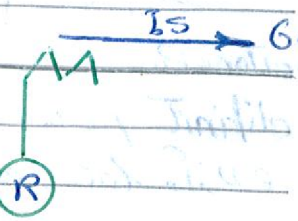
$\therefore n_{cs} = \frac{600}{5} = 120$ full load current.

$\therefore I_{pickup}$ of Relay for secondary winding $= \frac{I_{pickup}}{n_{cs}}$

$= \frac{828}{120} = 6.4$ A

$\therefore$ select 7A

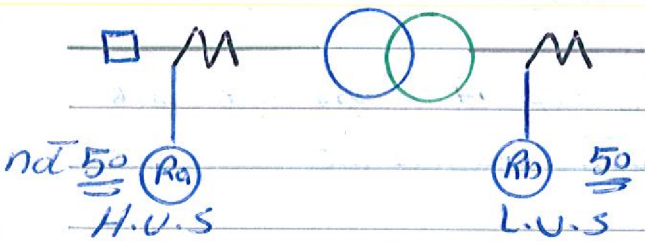
$\therefore I_{pickup} = \frac{600 * 1.2 * 1.15}{n_{cs}}$



∴ Instantaneous relays. "overCurrent Relay":

In IEEE or ANSI slander it's take number "50".
∴ In All Cases. of Course, The relay must not operate on inrush Current or for low-side faults. peak magnetizing Current in aTransformer Can be as high (8 → 10) times peak full-load Current.

أولاً : لا يوضع لـ (50R) في البداية لسبب وجود inrush Current
وتكتفي بوضع (50) ثانوي
وذلك لأنها لا تقوم بعمل energizing للمحول من ناحية ثانوي

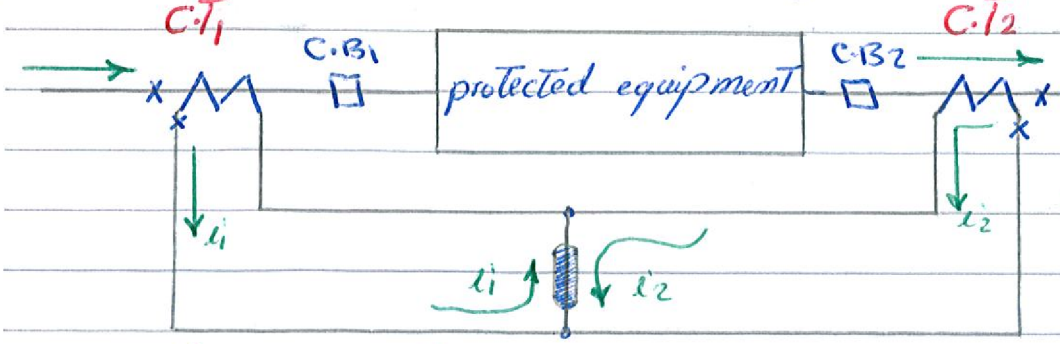


→ In The primary (50) may Mail operate due to inrush Current.

← في المحول نيار inrush تكون عالي جداً في حالة no-load
أما في حالة load تكون نيار inrush صغير.

∴ percentage Differential protection (87T).

It's number in IEEE or ANSI is (87T).
percentage Restrained Differential Relay ← وهو يسمى أيضاً



يعتبر هذا الريلاي هو أهم ريلاي في الشبكة الكهربية.

ويسمى هذا الريلاي بـ "Unit protection" أي يقوم بحماية كل من Generator أو Transformer أو Bus Bar أو Capacitor Bank أو "difinit boundary" أو بمعنى آخر يقوم بحماية أي معدة موجودة في أي نقطة محددة تقوم بأخذ إشارة "تيار" من وذلك local end

Remote end ثم يقوم بعمل عليه "Classification" داخليه الاى بناء عليها
يقوم بارسال "proper Trip Commend To C.B mechanism" حتى يقوم
بالفصل وازاله العطل باسرع وقت ممكن
isolate fault as quickly as possible.

Differential Relay (87)

- Low impedance Relay
- High impedance Relay.
  ,, ال input له تكون (volt)

low impedance differential Relay

① Circulating Current differential Relay.

② Percentage Restrained differential Relay.

① Circulating Current differential Relay.

**

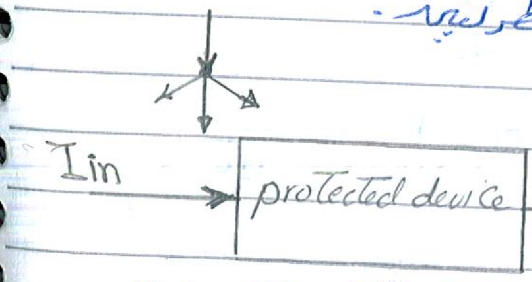
**

**.

كل ال input له تكون من C.T وصح لتحقق على نظريته.

① Σ Current = Zero

② تيار الداخل = تيار الخارج



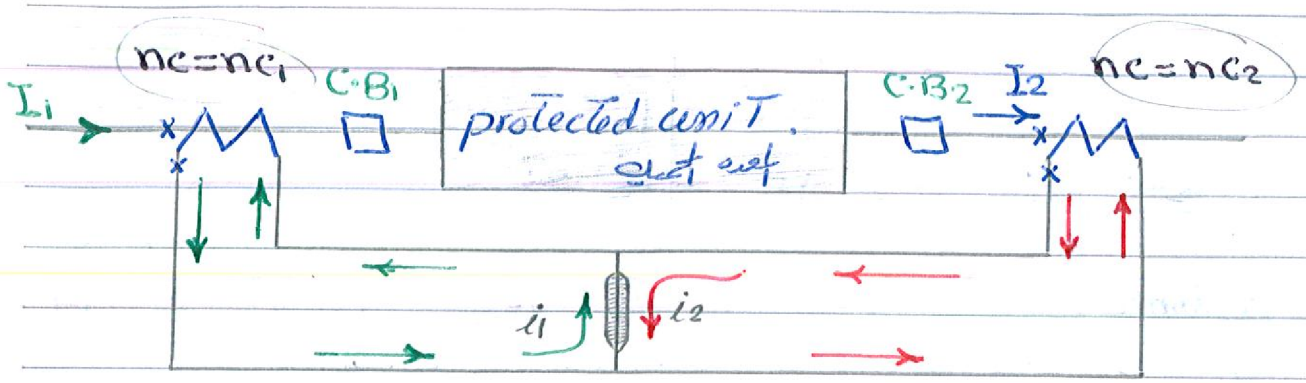
"unit protection device"

كما ذكرنا انه هذا الرلاي لسيمى "O.H.T.L" وصح يقوم بحماية معظم مكونات الشبكة الكهربية ماعدا خطوط النقل "
وذلك لانه طويل جداً وعند نحتاج الى C.T غ لبداية وآخرى لنهايته وهذا يكون
مكلف جداً فلا يستخدم ولكنه عند لطبيعة ينفذ ليستخدم.

∴ Case (1) ∴ تيار الخارج مد ثانوي في C.T1 = تيار الخارج مد ثانوي في C.T2

"Turn ratio" وحتى يكونوا متساويين لابد أن يكونوا لهم نفس نسبة التحويل

C.Ts ⇒ produce equal current in the secondary.



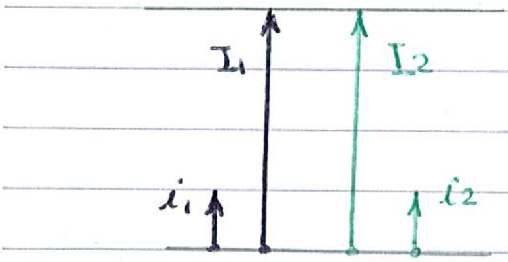
∴ At normal load condition . $I_1 = I_2$ (معلوم)

نسبة التحويل لـ C.T هي nc

تعمل على :

① تقليل قيمة التيار حيث تكون مناسبة للريلاي

② أن تكون تيار في الثانوي لنفس الحمل يكون في نفس اتجاه تيار الابتدائي.



نفس الشيء لتيار الثانوي نجد أن :

$$\therefore i_1 = \frac{I_1}{nc_1} = \frac{I_1}{nc}$$

$$\therefore i_2 = \frac{I_2}{nc_2} = \frac{I_2}{nc}$$

if $|I_1| = |I_2| \Rightarrow \frac{I_1}{nc_1} = \frac{I_2}{nc_2} \Rightarrow \frac{I_1}{nc} = \frac{I_2}{nc}$

كمية

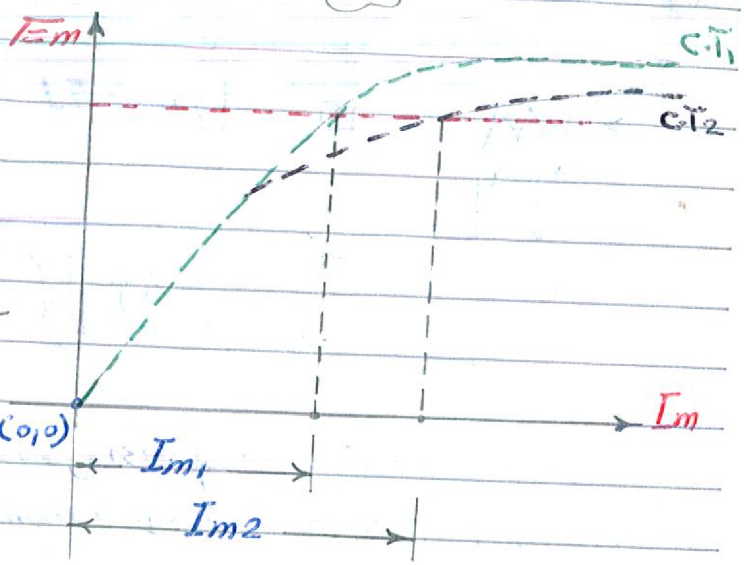
باتجاه $\Rightarrow i_1 = i_2$ secondary current وبالتالي تكون

$\sum$ Current in Relay = Zero

∴ Relay Current (I Relay) = $i_1 - i_2$ = Zero

هذا مثال تخيلي فقط . ونظراً لأنه لا تتساوى نسبة التحويل لأي كولايه حتى لو تم تصنيعهم من نفس المصنع لأنه تختلف العوامل والأداء لكل منهم

open circuit characteristic (أو) Magnetization Curve وبالتالي يختلف لـ
أو "B-H Curve" لكن كلها بالمعنى



I_m → Magnetizing Current.

$\therefore I_1 = i_1 + I_{m1}$

I_1 → primary Current

i_1 → secondary Current

$\therefore i_1 = I_1 - I_{m1}$

$\therefore$ such as. $i_2 = I_2 - I_{m2}$

عند هذه الخطوة نقوم بحساب تيار الريلاي

$\therefore I_R = i_1 - i_2$

$\therefore I_R = I_\Delta = i_1 - I_{m1} - i_2 + I_{m2}$ $(I_1 = I_2)$

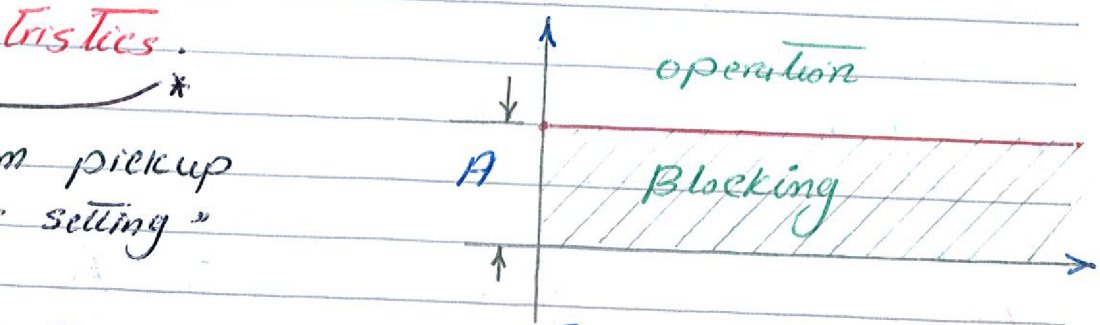
$\therefore I_{Relay} = I_{m2} - I_{m1}$

وبالتالي في الحالة العادية "Normal load" تكون تيار الريلاي يساوي الفرق في تيارات الملفات.

لذلك نقول "minimum pick up value" لزوم الريلاي عند هذه القيمة الفرق في تيار بالملفات وذلك للاحتياط "precaution" نقول لـ pick up عند تيار الفرق أو يساوي المجموع

$I_{pickup} \geq$ sum of magnetization Current

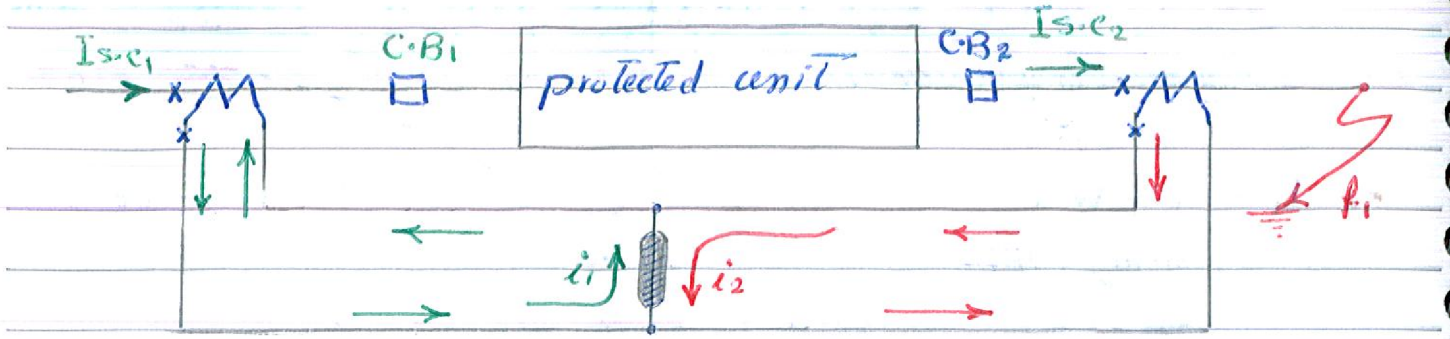
Relay Characteristics.



A → minimum pickup
تسمى "Basic setting"

الريلاي لا يعمل بداية من Zero وذلك يعمل عند minimum pick up وهي تساوي مجموع تيارات الملفات "$I_{m1} + I_{m2}$"

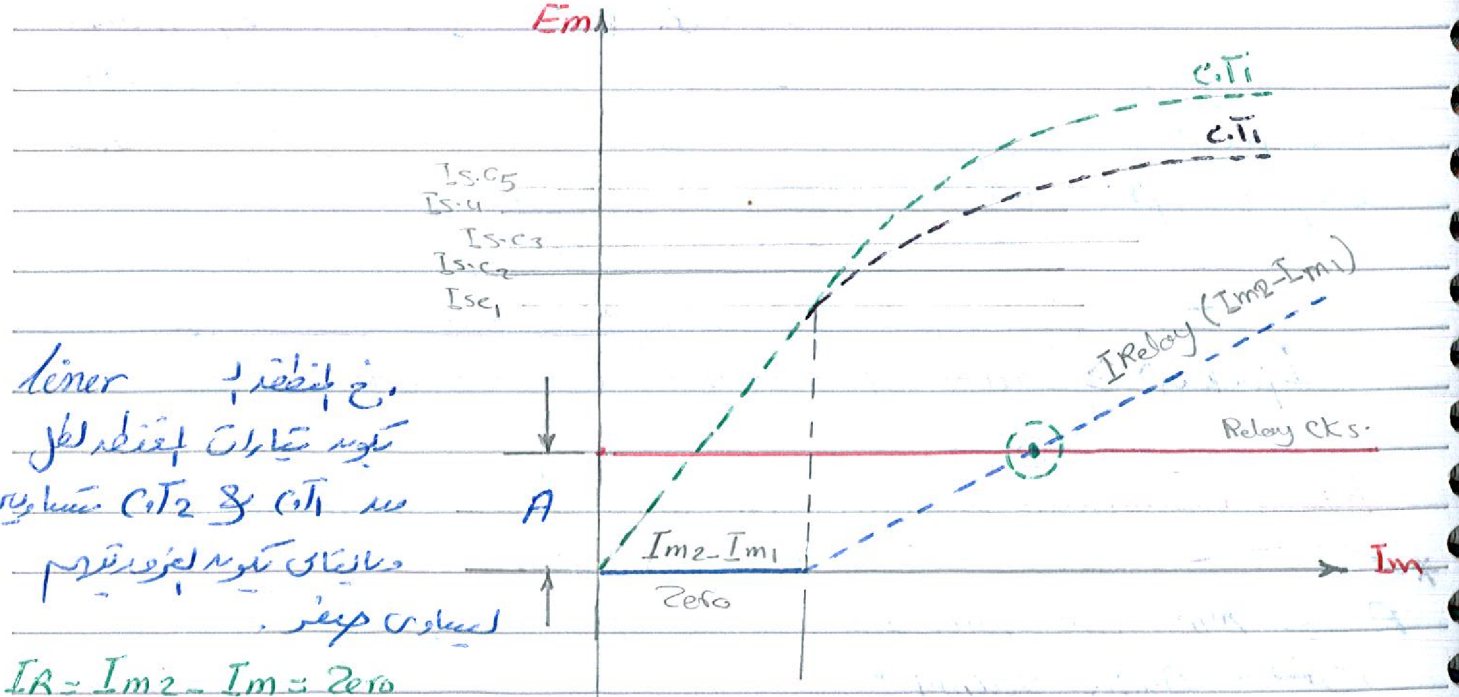
Case ② for external fault occure. لعطل خارج المنطقة المحمية



تكون القيمتين "Is.c1 = Is.c2" في نفس الحالة المثالية وتكون الـ C.T's مصممة في حالة الـ "Saturation for C.T's" لكي "short circuit current" يكون "magnetizing Curve" وهو يبين العلاقة بين "Em, Im" وعندما ننظر للعلاقة بينهم

Em ← Induced Voltage في حالات الثبات للـ C.T's

فعندما نزداد قيمة تيار (S.C) تزداد قيمة "Em" المتسببة في إلقاء "secondary side" تحولات التيار، فالتيار يزداد تيار المنظم وبالتالي عند يزداد تيار الريلاي في الحالة العادية لأنه يعبر عن الفرق في تيار المنظم "Im2 - Im1" وبالتالي عند يعمل الـ Relay عند قيمة معينة لتيار "short circuit"

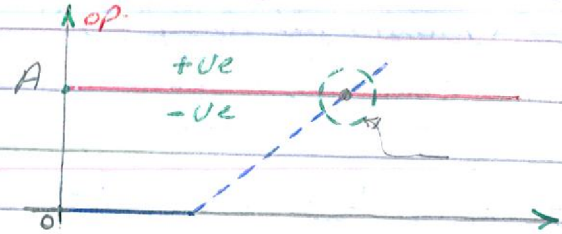


Liner في المنطقة A تكون تيارات المنظم لكل من الـ C.T2 & C.T1 متساوية وبالتالي تكون الفروق تساوي صفر.

IR = Im2 - Im = Zero

∴ Disadvantages of This Relay. For external fault at high short circuit level, The differena of magnetizing Current is more which may operates The Relay.

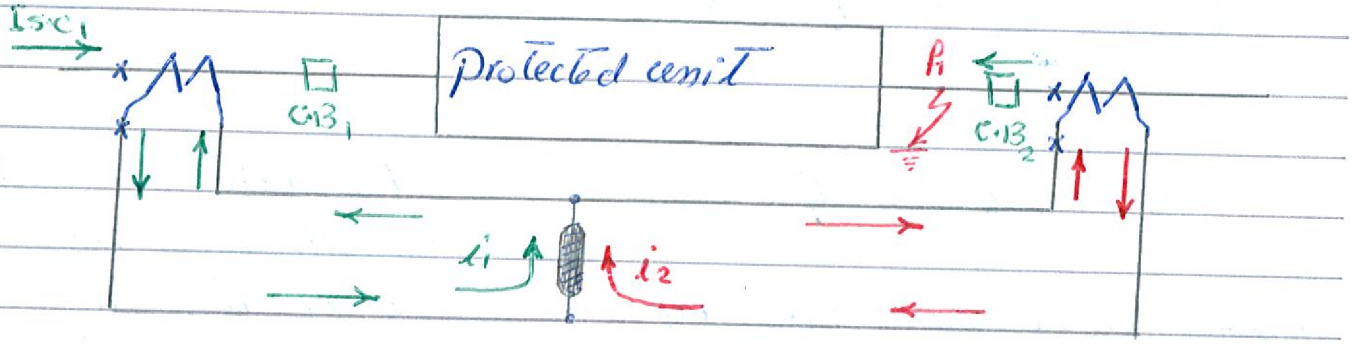
عندما يكون عندنا "external fault" يكون فيه تيار "short circuit" عالي جداً بالنسبة لتيار الحمل ($C.T_1$ & $C.T_2$) كمية كبيرة جداً بالنسبة لتيار الـ Relay كمية كبيرة جداً "minimum pickup value" وبتقل على أساسها



وبعمل Relay operates

يعني الريلي فوراً عند هذه النقطة

Case ③ for Internal Fault Condetion.

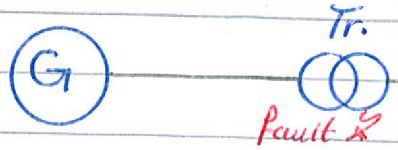


Fault may be feed from → one side only (سبب واحد)

→ two side end (سببين)

a) Fault Current is feed from one side only.

وفي هذه الحالة الـ Fault يغذي من جهة واحدة وذلك عندما يكون لدينا "Radial system" system



وفي هذه الحالة يكون تيار "I_{sc1}" هو الذي يساوي تيار "$I_{sc2} = i_2$" الذي يمر

$$I_{Relay} = i_1 - \underbrace{i_2}_{=0} = i_1 \Rightarrow \boxed{I_{Relay} = \frac{I_1}{n_c}}$$

∴ Relay Current > pick up value « minimum value »

So Relay will operate and isolate fault.

b) The fault is being feed from two end. وهنا الخطأ يغذى من طرفين

وهنا الخطأ يغذى من طرفين وهذه الحالة يكون تيار الخطأ I_{sc_2} ← لا فقط في "Ring system" وهذه الحالة يكون تيار الـ Relay كبير ويساوي مجموع التيارين ($I_R = i_1 + i_2$) وبالتالي سوف يعمل ويفصل كلا من CB_2 & CB_1

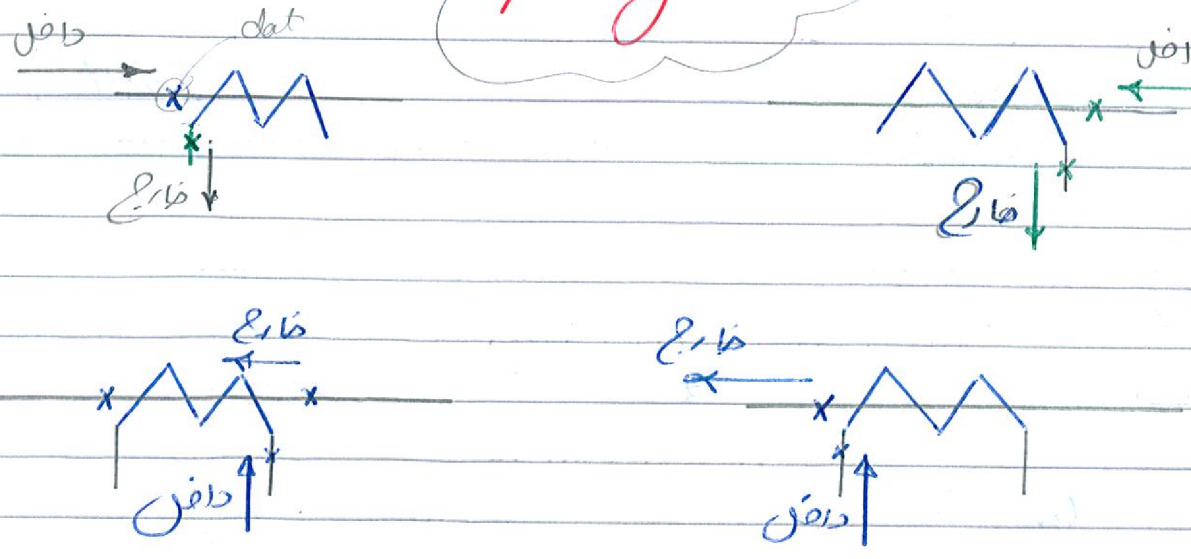
$$\therefore I_{Relay} = i_1 + i_2 = \frac{I_{s.c_1}}{nc} + \frac{I_{s.c_2}}{nc} = \frac{I_{s_1} + I_{s.c_2}}{nc}$$

$I_{sc_1} + I_{s.c_2}$ = Total Fault Current

$$I_{Relay} = \frac{\text{Total Fault Current}}{nc}$$

⚠ In circulating differential Relay ⇒ The differential Relay Current will be proportional To The vector difference between The currents entering and leaving The protected unit and if The differential Current exceeds The Relay minimum pickup value, The Relay will operate

يعتمد على "polarity of C.T"



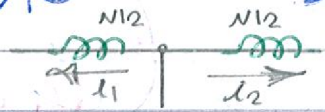
ثانياً :- percentage differential Relay "percentage Restrained"

*** *** **

مما ذكرنا أن النوع الأول "circulating current" عيبه حيث لا mail operation أو عيبه في حالة external fault أي يعمل خطأ وذلك في الحالة العادية "normal condition"

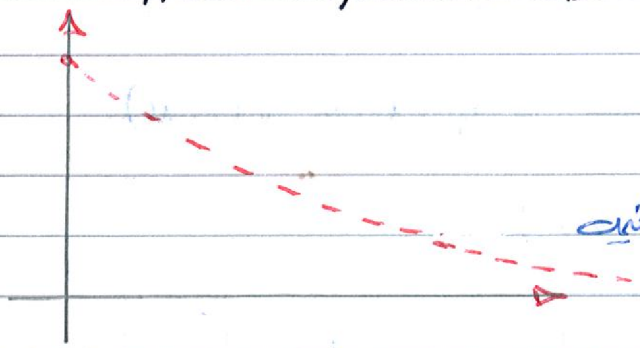
← ولذلك تم اللجوء إلى هذا النوع "percentage Restrained differential Relay" وفيه يتم إضافة ملفات لتعمل "Restraining Coil" تولد فيها قوة هذه القوة تعمل على منع عمل الريلاي في الحالة "normal condition" وكذلك في حالة external fault أو بعبارة أخرى في الحالات التي مر بالفروض الأربعة فيها.

← وفي حالة "Internal Fault Condition" تولد فيها قوة تكون محصلتها الصافي لا يمنع وذلك لأن القوة المتولدة في الملف الثانوي مضروبة بالاتجاه المتولدة في الثاني.

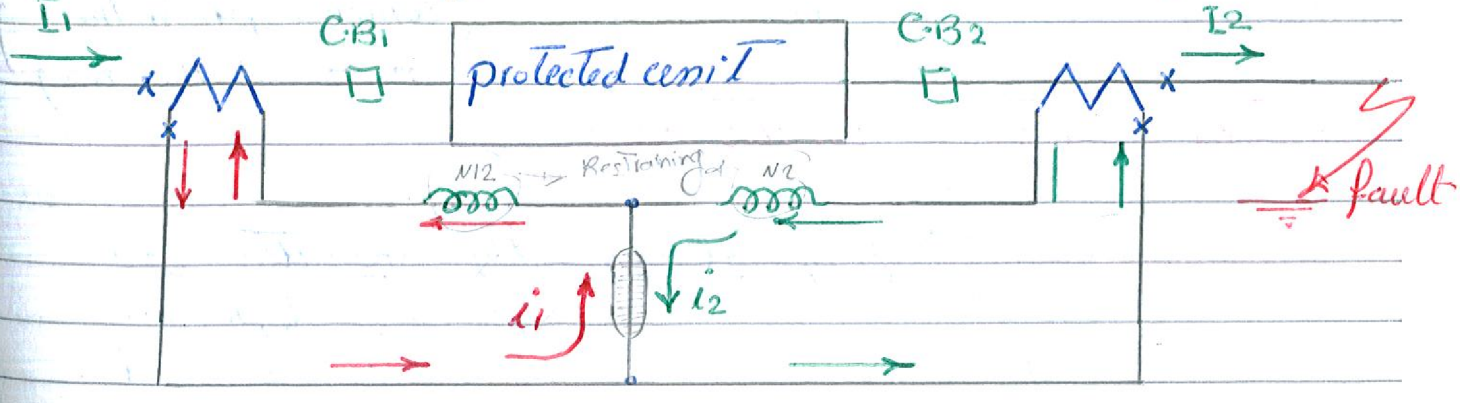


ملحوظة: يتم أخذ Restraining نتيجة مرور Harmonics كذلك الـ "DC offset" وذلك لأن Restraining لا يعمل عند وقوع Restraining في الحالة العادية.

DC offset Component ← أحد مركبات التيار الـ short circuit وتتغير مع الزمن وذلك لأن $\frac{dt}{dt}$ بسبب الـ DC لأنها تتغير في اتجاه واحد وبسبب الـ offset وذلك لأن الـ offset تتغير وتنتهي بعد فترة زمنية معينة تتوقف على قيمة "Time constant" "$\frac{L}{R}$"



وكذلك الـ Harmonic تظهر عند "Transient Condition" مثل:
1. Short circuit current.
2. Motor starting
3. Transformer energization.

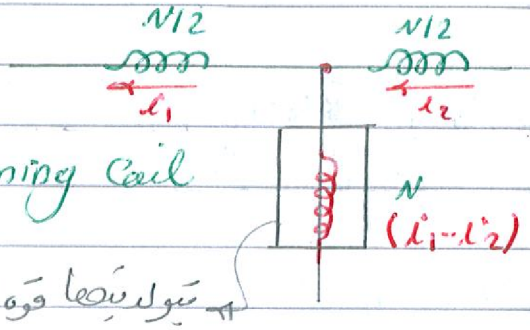


normal Condition

Internal fault ← دراسة هذا النوع هو نفسه في حالة Circulating

وللتبسيط سنتناول فقط " External fault Condition " والتي أنه مر بالمغروض من الأعلى .

⇐ The differential Current "Id" in the operating Coil is proportional To " $I_1 - I_2$) . and The equivalent Current in The Restraing Coil is proportional To ($\frac{I_1 + I_2}{2}$) since The operating Coil is connected To The mid point of restraining Coil



تعادم الريلي في حالة عدم العمل ← تيار Restraining Coil يولد بنفسها قوة

لا تعادم الريلي عند العمل

تيار بنفسها قوة ناتجة من المغروض في تيارات بالمغطى وهي تحاول لف في الريلي .

⇐ ملفات الـ Restraining تم تقسيمها الى نصفين كل نصف عدد لفاته (N/2) تيار منفصلة سيجيه وهي تعادم الريلي في حالة عدم العمل .

$$f_{restraining} = I_1 * \frac{N}{2} + I_2 * \frac{N}{2} = \frac{1}{2}(I_1 \cdot N + I_2 \cdot N)$$

$$f_{restraining} = \frac{1}{2}(\text{Fault Current})$$

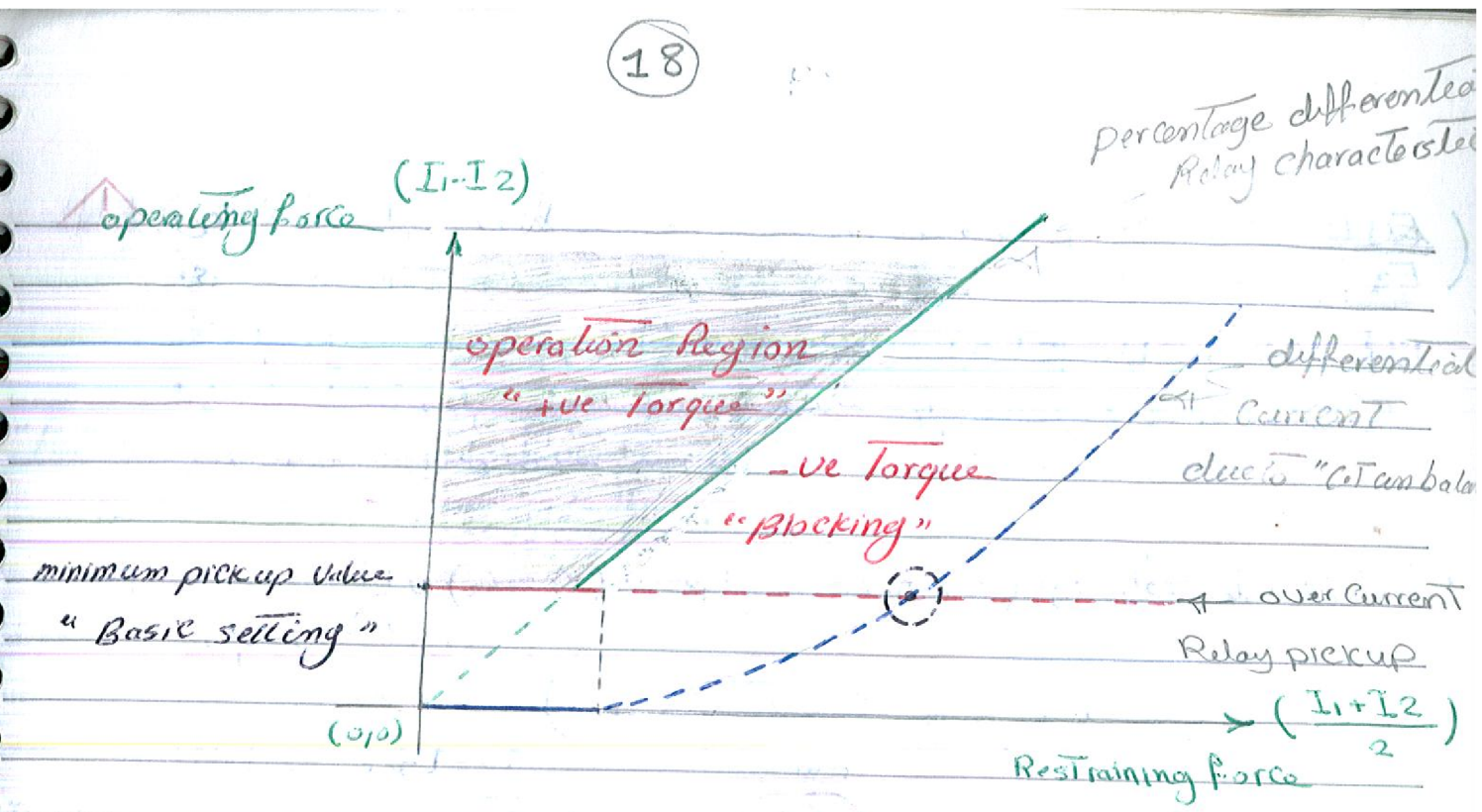
هذه القوة أكبر من القوة الناتجة من المغروض في تيارات بالمغطى وبالتالي الريلي لا يعمل في هذه الحالة

perantage Relay. ← The ratio of The differential operating Current To The average Restraining Current is a fixed perantage (which explain The name of The relay)

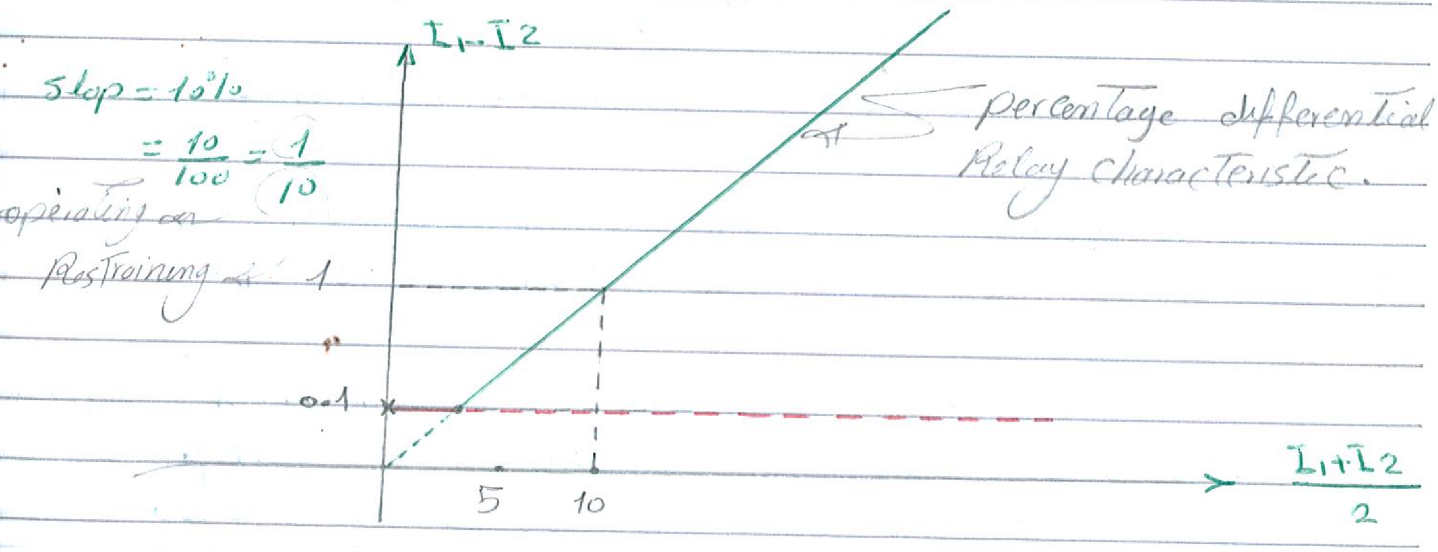
operating characteristic for This Relay.

Restraining quantity و operating quantity بين ratio يعطي وهي slope وتسمى % أي نسبة مئوية

$$\% = \frac{\text{operating}}{\text{Restraining}}$$



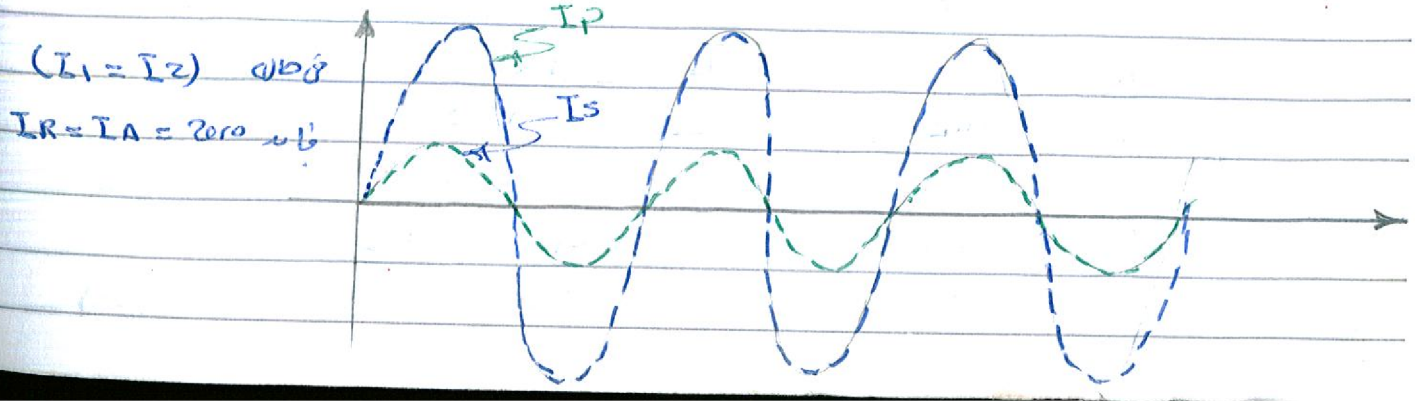
Example :- Draw the characteristic of percentage differential Relay which has (0.1 Ampere) minimum pick-up and 10% slop.



⚠ وظيفة محولات التيار دراسة كما ذكرنا سابقاً :-

① نقل القيمة حيث تكون مناسبة للاجهزة.

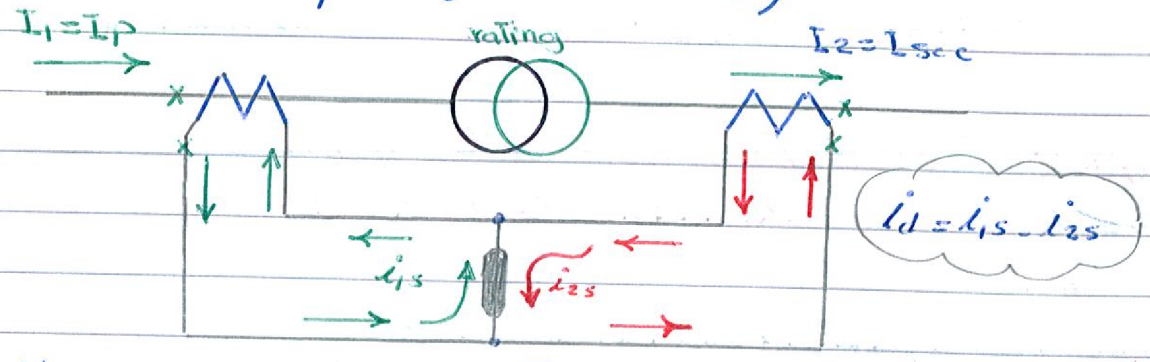
② تعطيه أندكيتور اتجاه تيار الابتدائي في لحظة اتجاه تيار الثانوي "polarity"



⚠ في حالة استخدام Protected equipment على الحول فإنه ($\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$) أي لو عندي step up or step down transformer فإنه إذا ($I_1 \neq I_2$) أو بمعنى آخر ($I_s \neq I_p$) وبمعنى ذلك أننا لو استخدمنا لفصل إ (C.T Ratio) فيكون في الثانوي ($i_1 \neq i_2$) وبالتالي لن يعمل في حالة "Healthy condelion"

∴ وبالتالي عشان ($i_1 = i_2$) لازم إ (C.T Ratio) في الابتدائي تكون مختلفة عنها في الثانوي للحول.

(C.T ratio prim ≠ C.T ratio sec)



أولاً . نيجي على إ C.T ratio بنيم حسابها على جنب إ "Max. load current" للحول

For 1φ Transformer ⇒ $S_{1\phi} = I_p . U_p = I_s . U_s$

For 3φ Transformer ⇒ $S_{3\phi} = \sqrt{3} I_p . U_p = \sqrt{3} I_s . U_s$

∴ $S_{1\phi} = I_1 . U_p = I_2 . U_s$ (بنيم حساب كومة I_2 & I_1)

وبنيم إختيار أقرب "Standard" لـ C.T ratio وبالتالي إ C.T ratio "mis match ratio" تعتبر غير متساوية وليس ذات بال

لإن إحنا عاوزين "Normal operation" $i_{s_1} = i_{s_2}$ في حالة إشتغل إعادي

$\therefore i_{s_1} = \frac{I_1}{nc_1}$, $i_{s_2} = \frac{I_2}{nc_2}$

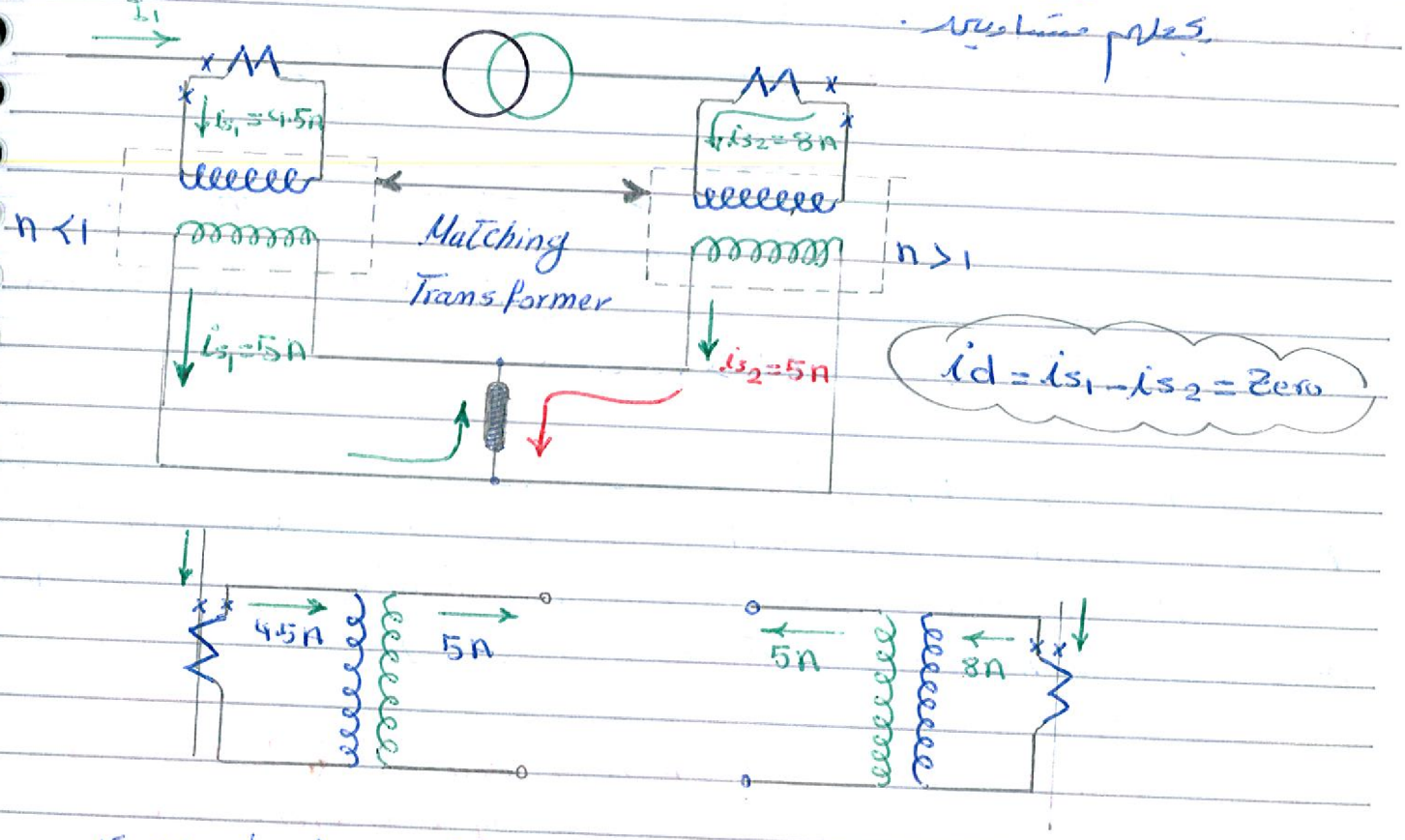
$\frac{I_1}{nc_1} = \frac{I_2}{nc_2}$ $\therefore \frac{I_1}{I_2} = \frac{nc_1}{nc_2}$

$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$ $\therefore \frac{nc_1}{nc_2} = \frac{N_2}{N_1}$

$$N_1 * n_{C1} = N_2 * n_{C2}$$

هذا الـ Condition لابد سوف تحقق عشان الـ "$i_o = i_d = 0$" أثناء الـ Normal Condetion .

"Hatching Transformer" ولكلمة هذا الاسم والتعريف على ذلك تم استخدام "I_1 & I_2" حيث دائماً تكون على أطراف الريلاي لتقوم بتعليل كعلم مساعد.



عند اختيار الـ setting لهذا الريلاي "differential Relay" يجب أن نأخذ في الاعتبار الآتي:

① Mis match ratio ② C.T error.
③ under load tap changer.

In any case, even with these adjustments, there remains some residual ratio mis match, which leads to a small differential current (i_d) during normal condition, secondly, The errors of transformation of the two C.Ts may differ from each other, Thus leading to significant differential current when there is normal load flow or an external fault, Finally, if the power transformer is equipped with a tap changer, it will introduce remain transformer ratio

change when taps are changed, These These Three affects Cause a differential Current to flow in the over Current relay, and The relay design must accommodate These differential Currents with out Causing a trip.

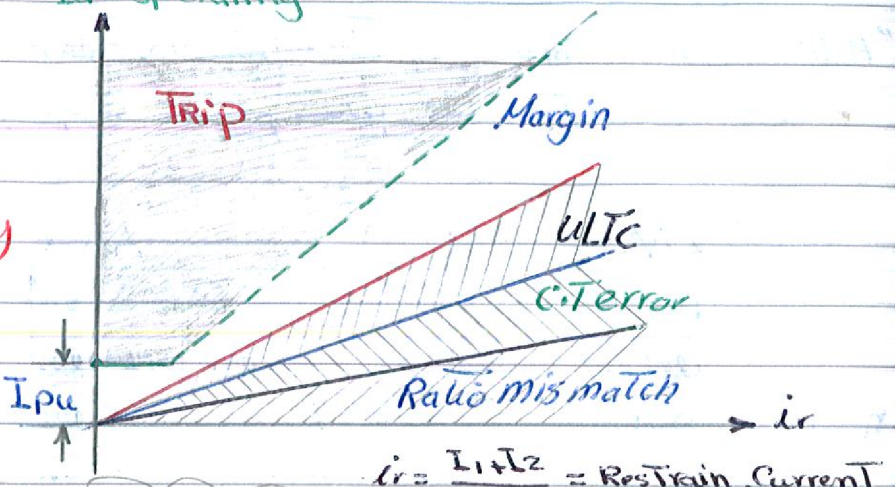


Fig: percentage differential relay characteristic.

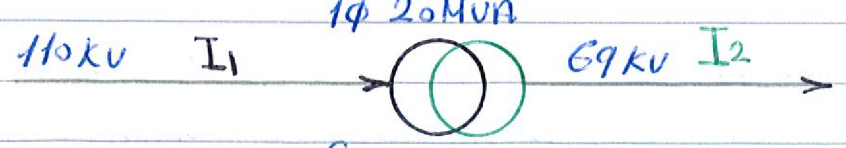
The relay operates when: $Id \geq K.ir$

∴ where (K) is The slope of The percentage differential characteristic

K ⇒ is generally expressed as a percent value: Typically 10% 20%, and 40%, Clearly, a relay with a slop of 10% is far more sensitive Than a relay with a slop of (40%).

Ex. A single phase Transformer is rated at (110/69 KV) 20 MVA, it's To be protected by a differential relay with input Tap, of 3.4, 4.5, 4.8, 4.9, 5, 5.1, 5.2, 5.5 amp secondary., The Transformer has (ULTC) ±5%.

* specify The C.Ts, The pick up setting and The percentage diff. slop for relay.



$$\therefore I_1 = \frac{20*10^6}{110*10^3} = 181.8 \text{ Amp}$$

$$\therefore I_2 = \frac{20*10^6}{69*10^3} = 289.8 \text{ amp.}$$

select the C.T ratio from the nearst standered value.

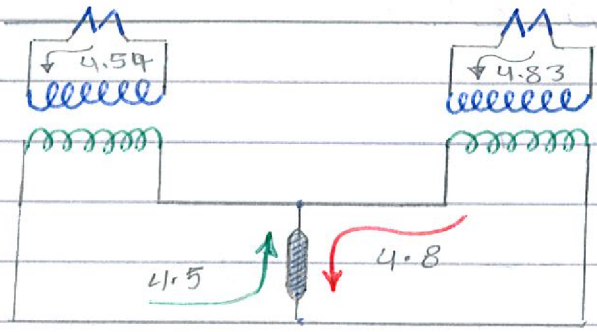
$\therefore nc_1 = \frac{200}{5} = 40$ & $nc_2 = \frac{300}{5} = 60$

$\therefore is_1 = \frac{I_1}{nc_1} = \frac{181.8}{40} = 4.54$ amp

$\therefore is_2 = \frac{I_2}{nc_2} = \frac{289.8}{60} = 4.83$ amp.

$\therefore is_1 \neq is_2 \Rightarrow$ at normal condition mail operate

أي بريلي يعمل فقط.



$\therefore \frac{4.54}{4.5} = 1.009$

$\frac{4.83}{4.8} = 1.006$

Mis match rate = 1.009 − 1.006 = .003

① $\therefore$ Mis match rate = 0.003 $\Rightarrow$ As % = 0.3 %

② select C.T error % = 10 %

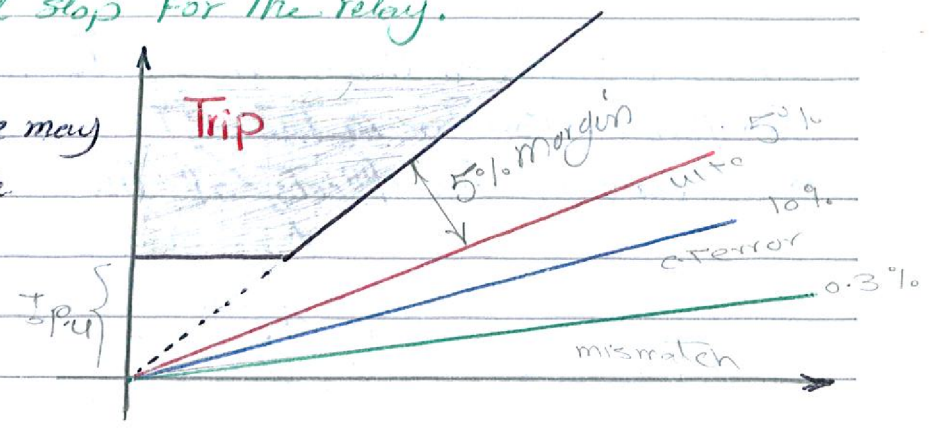
③ Given ulTc % = 5 %

Total error = 10 % + 5 % + 0.3 % = 15.3 %

$\Rightarrow$ with about 5% margin, we may there for select a (20%) differential slop for the relay.

$\Rightarrow$ for the pick-up setting, we may select the lightest available setting.

$I_{pick\text{-}up} = \frac{1}{4}(0.25)$ amp.



⚠ The primary Current on The 69 kv side will be.

$\therefore I_p = I_{s_2} * n_{c_1}$

$\therefore I_p = 0.25 * 60 * \frac{4.8}{5} = 14.4$

أقل تيار عكرفي الابتدائي

يجعل الريلاي يـ pickup أقل من ذلك لا يراه الريلاي

will not be seen by The relay.

power Transformer protection

* Transformer differential relay (87 T_r)
  Mechanical relays.
  a) pressure relay b) Bochholoze relay.
  c) Tempreture device relay.

" Spill Current " يحتوي على " normal " كما ذكرنا سابقا قبل أبدالحول في الحالة
" Two C.Ts non identical " وذلك نتيجة لابد
وبالتالي كيف يتم حل هذه المشكلة لكي أتخلص من تحاوي الحول
* أي ما هي الظواهر الطبيعية التي تحدث عادة في الحول ؟.

⊛. Causes of false Differential Currents.

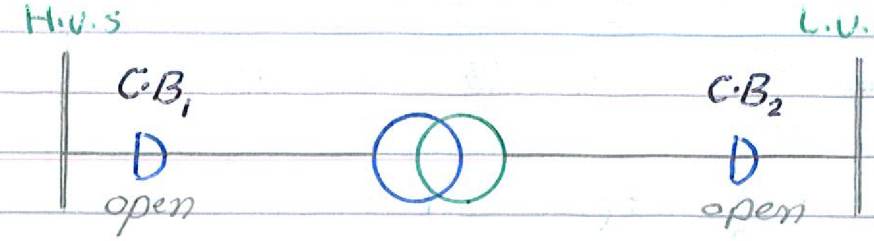
False differential Currents are generally sufficient To Cause apercentage differential relay To Trip.

All such phenomena Can be Traced To The nonlinearities in The Transformer Core. or in The CT Core, or in both, we will now Consider The effects of These nonlinearity

كل الأسباب التي سوف ندرسها وذكرها لابد ترجع إلى إحدى الطريقتين
" non linearity of magnetic core "

① Magnetizing Inrush Current during Energization.

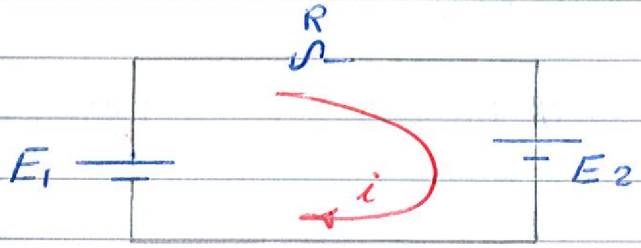
أول ظاهره تظهر فى المحول وهى مهمه جداً وهى ظاهرة (inrush Current)



نفترض فى البدايه أن المحول (Dead) أى ليس عليه جهد ونعتبر أيضاً أنه لا يحتوى على أى شحنات فى الـ "Core" تساوى صفر.

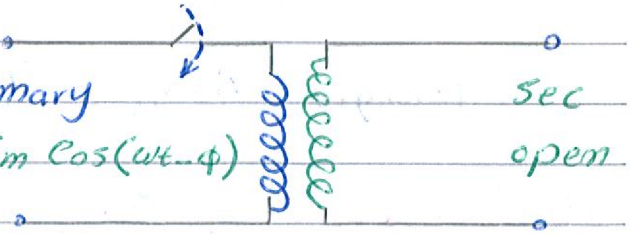
عند غلق قاطع التيار (C.B1) معنى ذلك أننا نقوم بتغذية المحول energizing من جهد الجهد العالى (H.V) أى سيتم ما يسمى بـ "Inrush Current" التيار اللحظى ليحدث مجال مغناطيسى لتغذية.

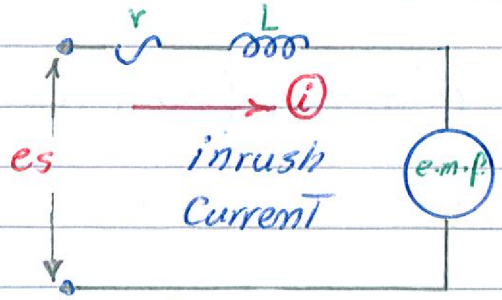
حتى نتمكن من فهم هذه الظاهرة.



$\therefore E_1 = iR + E_2$ in DC

In AC Voltage





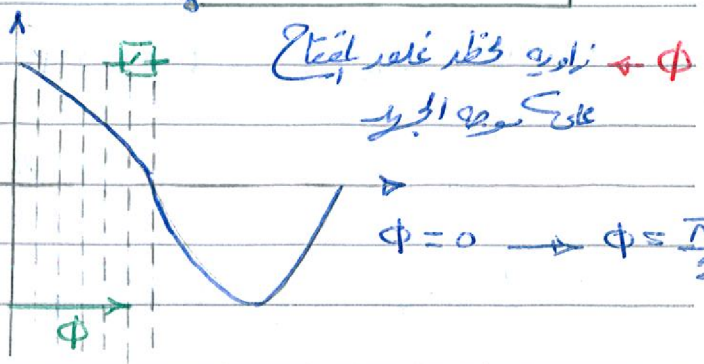
$\therefore e_s = i r + l \frac{di}{dt} + e.m.f$

لو المحول loss free

$\therefore e_s = emf$

$emf = N_p \frac{d\phi}{dt}$

معدل قطع الفيض للملفات



زاوية ظهر غلق القاطع على موجة الجهد

$emf = N_P \frac{d\phi}{dt} \rightarrow i = \frac{emf}{Z} \rightarrow i = \frac{N_P}{Z} \frac{d\phi}{dt}$

$\therefore \phi \propto i \rightarrow \phi$ in phase with i

$\therefore e_s = N_P \frac{d\phi}{dt} \quad \therefore d\phi = \frac{e_s}{N_P} dt$

$\therefore d\phi = \frac{E_m}{N_P} \cos(\omega t - \phi) dt$

$\therefore \Phi = \frac{E_m}{N_P} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos(\omega t - \phi) dt$

$\therefore \Phi = \frac{E_m}{N_P} \Big/ \sin(\omega t - \phi) \Big|_0^{\frac{\pi}{2} \text{ or } \omega t}$

$\therefore \Phi = \frac{E_m}{N_P} \left(\sin(\omega t - \phi) - \sin(-\phi) \right)$

$\therefore \Phi = \frac{E_m}{\omega N_P} \left(\sin(\omega t - \phi) + \sin\phi \right)$ # ص

$\therefore \Phi_{max} = \frac{E_m}{\omega N_P}$ تم الحصول على Flux لاسم دلالة بتم الحصول على ابتدا ر .

ϕ (Range) from $(0 \xrightarrow{To} \frac{\pi}{2})$

At The Case of $(\phi = 0 \ \& \ \omega t = 0)$

$\therefore \Phi = \Phi_{max} \left(\sin(0-0) + \sin(0) \right) = \text{Zero}$

At $(\phi = \frac{\pi}{2} \ \& \ \omega t = \frac{\pi}{2})$

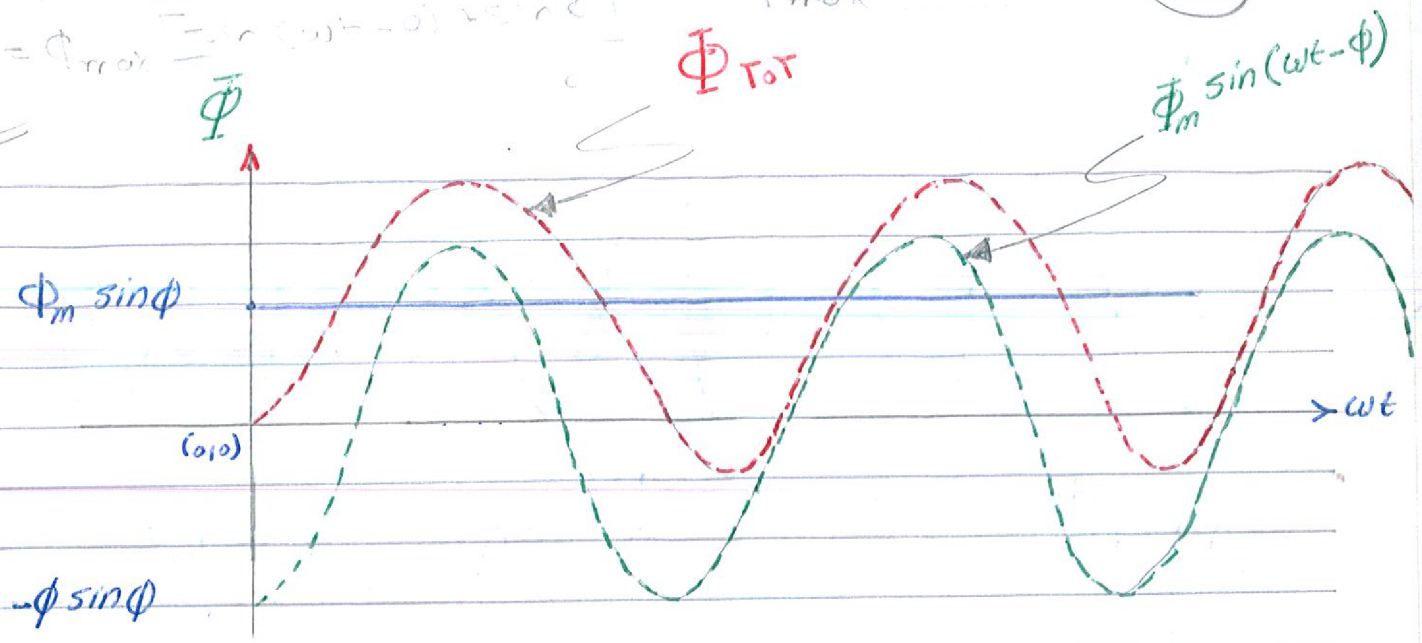
$\therefore \Phi = \Phi_{max} \left(\sin(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{2}) + \sin\frac{\pi}{2} \right) = \Phi_{max}$

$0^\circ \quad 1$

At $(\omega t = \pi \ \& \ \phi = 0)$

$\Phi = \Phi_{max} \left(\sin(\pi - \phi) + \sin\phi \right) = \text{Zero}$

$-\sin\phi$



∴ The magnitude of This Current " Inrush " is delermined by The slope of The magnetizing characteristic in The saturated region, and by The leakage inductance

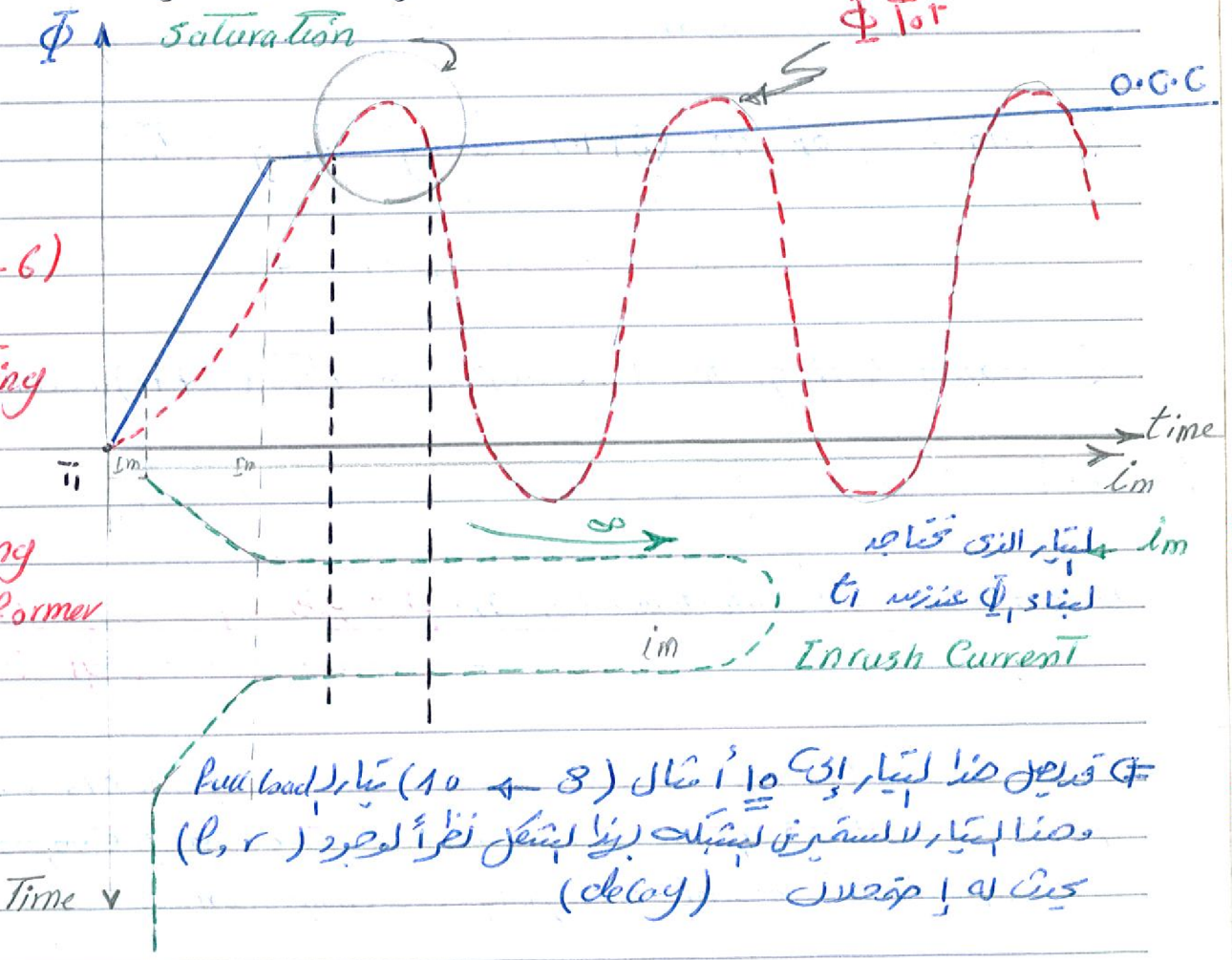


Fig.(8-6)

Magnetizing Current during energizing of Transformer

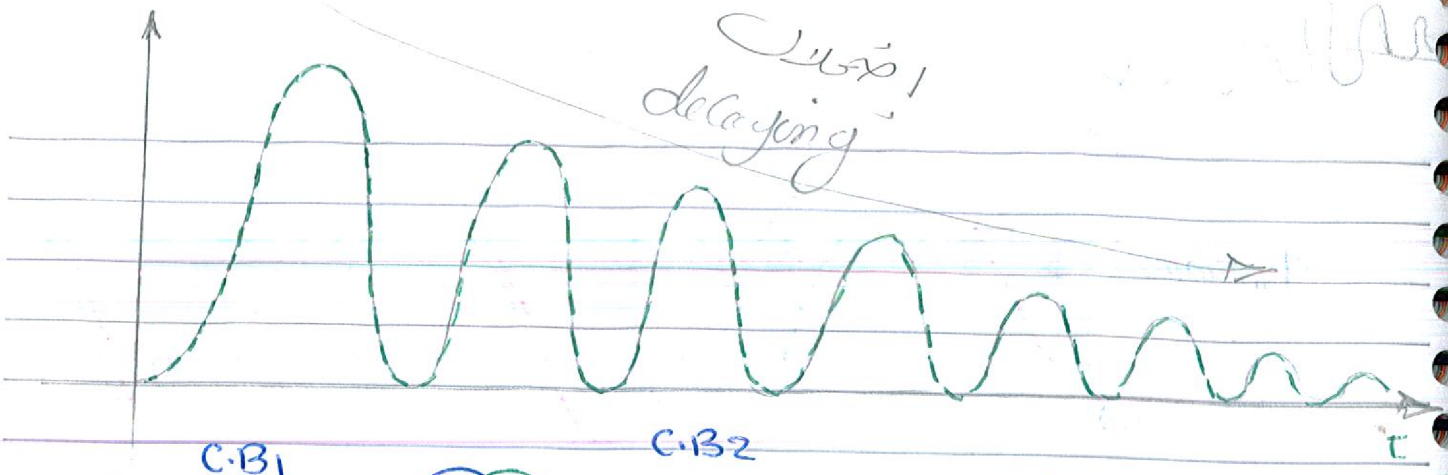
← التيار الذى نحتاج لبناء Φ عندزمن ti

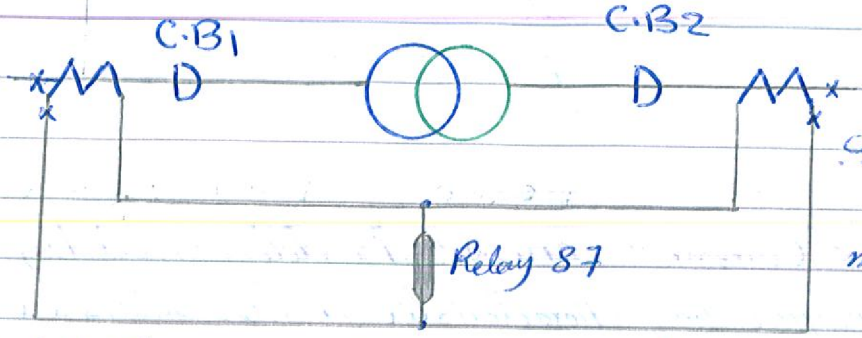
← قيمة هذا التيار إذا كان 10 أمثال (8 ← 10) تيار الـ Full load

← هذا التيار للأسف يستهلك زمناً لينشأ نظراً لوجود (L, r) حيث له خواص (delay)

Time

Because of The losses in The circuit, The magnetizing Current will delay To it's nominal small value as shown in The next figure.





كل ما تقدم لـ C.B1 نجد أن التيار يتجزأ وذلك لسبب الـ inrush Current . زمنه بـ "msec - few second"

وذلك لأن تيار الـ operating قد يصل إلى 200% من تيار الـ Restraining أي أن التيار التفاضلي سوف يحل . هذا التيار تكون ناتج عن الـ Harmonics للتغلب على هذه المشكلة نستخدم طريقتين .

① Blocking of The (87Tr) during energization .

ونستخدم هذه الطريقة في المحولات ذات small rating

↳ " Blind or masking of 87Tr "

② using voltage relay To supervise The (87Tr) during energization

وأحياناً هذه الطريقة لا تنفع وبالتالي يتم تحليل موجة الـ inrush باستخدام Fourier

* في حالة الـ fault لا تظهر إلا الـ Fundamental Compon. ولا تظهر إلا في جزء من الموجة فقط .

∴ The inrush current is rich in harmonic components, while The fault current is a pure fundamental frequency component (except for a possible decaying dc component).

We may use fourier series analysis To calculate The harmonics of This current. Consider The origin To be at The center of current pulse as shown in The next figure.

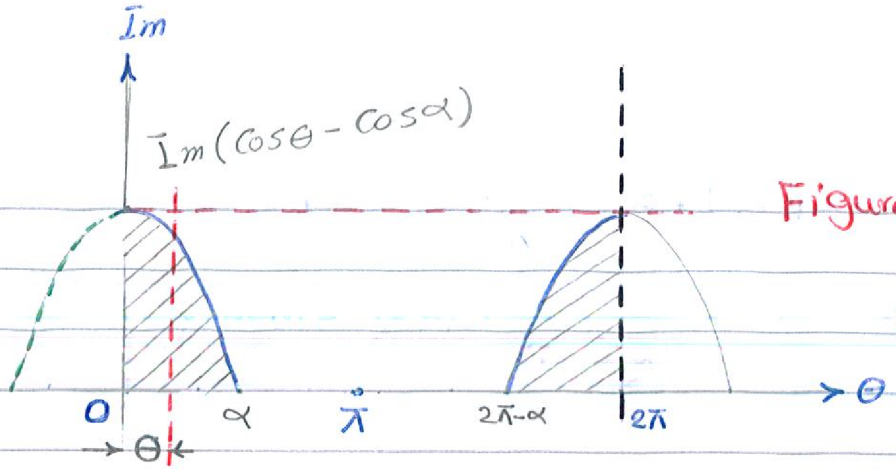


Figure (8-7) : Idealized inrush current wave form

The expression for the current waveform is given by.

"Inrush Current equation"

$\therefore i(\theta) = Im(\cos\theta - \cos\alpha), \quad 0 \le \theta \le \alpha \;,\; 2\pi-\alpha \le \theta \le 2\pi$

$\therefore i(\theta) = \text{zero at} \quad (\alpha \le \theta \le 2\pi-\alpha)$

at $\theta = 0 \Rightarrow i(\theta) = Im(1 - \cos\alpha)$

∴ الدالة متماثلة حول نقطة الأصل

∴ الدالة زوجية ⟵ $b_n = 0$

$$\therefore a_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} i(\theta)\cos n\theta \, d\theta$$ نضرب * 2 للتجزئة الظلية

$$\therefore a_n = \frac{2}{\pi}\int_0^{\alpha} Im(\cos\theta - \cos\alpha)\cos n\theta \, d\theta$$

$$= \frac{2\,Im}{\pi}\int_0^{\alpha} (\cos\theta.\cos n\theta - \cos\alpha.\cos n\theta)\, d\theta$$

⚠ $\cos x \cdot \cos y = \frac{1}{2}\left(\cos(x+y) + \cos(x-y)\right)$

$$\therefore a_n = \frac{Im}{\pi}\int_0^{\alpha} \cos(n\theta+\theta) + \cos(n\theta-\theta) - \left[\cos(n\theta+\alpha) + \cos(n\theta-\alpha)\right] d\theta$$

$$a_n = \frac{Im}{\pi}\left[\int_0^{\alpha}\cos(n+1)\theta\, d\theta + \int_0^{\alpha}\cos(n-1)\theta\, d\theta - \int_0^{\alpha}\cos(n\theta+\alpha)\, d\theta - \int_0^{\alpha}\cos(n\theta-\alpha)\, d\theta\right]$$

$$a_n = \frac{Im}{\pi}\left[\frac{1}{n+1}\sin(n+1)*\alpha + \frac{1}{n-1}\sin(n-1)*\alpha - \frac{2}{n}\cos\alpha \sin n\alpha\right]$$

$n = (1, 2, 3, \ldots)$ ← Third ← second ← Fundamental

To get The fundamental component $(n = 1)$

$$\therefore a_1 = \frac{Im}{\pi}\left[\frac{1}{2}\sin 2\alpha + \alpha - 2\cos\alpha \sin\alpha\right]$$

$$\therefore a_1 = \frac{Im}{\pi}\left[\frac{1}{2}\sin 2\alpha + \alpha - \sin 2\alpha\right]$$

$$\therefore a_1 = \frac{Im}{\pi}\left[\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right]$$

← Fundamental Current component in inrush current.

To get $\left(\frac{1}{n-1}\sin(n-1)\alpha \quad . (n=1)\right)$

using Expansion Theory (Tylor)

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{3!} - \frac{\theta^5}{5!} - \cdots$$

$$\frac{1}{n-1}\sin(n-1)\alpha = \frac{1}{n-1}\left[\frac{(n-1)\alpha}{1} - \frac{(n-1)^3\alpha^3}{3!} + \cdots\right]$$

$$\therefore a_1 = \frac{Im}{\pi}\left(\alpha - \frac{1}{2}\sin 2\alpha\right)$$ ← Fundamental تردد ال Component

50 Hz هو

$\left(\frac{a_2}{a_1}\right)$ Fundamental على ال $(a_2)_{2nd}$ ← ال ← مقدار

$\left(\frac{a_3}{a_1}\right)$ ← 3^{rd} وكذلك

"Harmonic of the magnetizing inrush current"

Table (8-1)

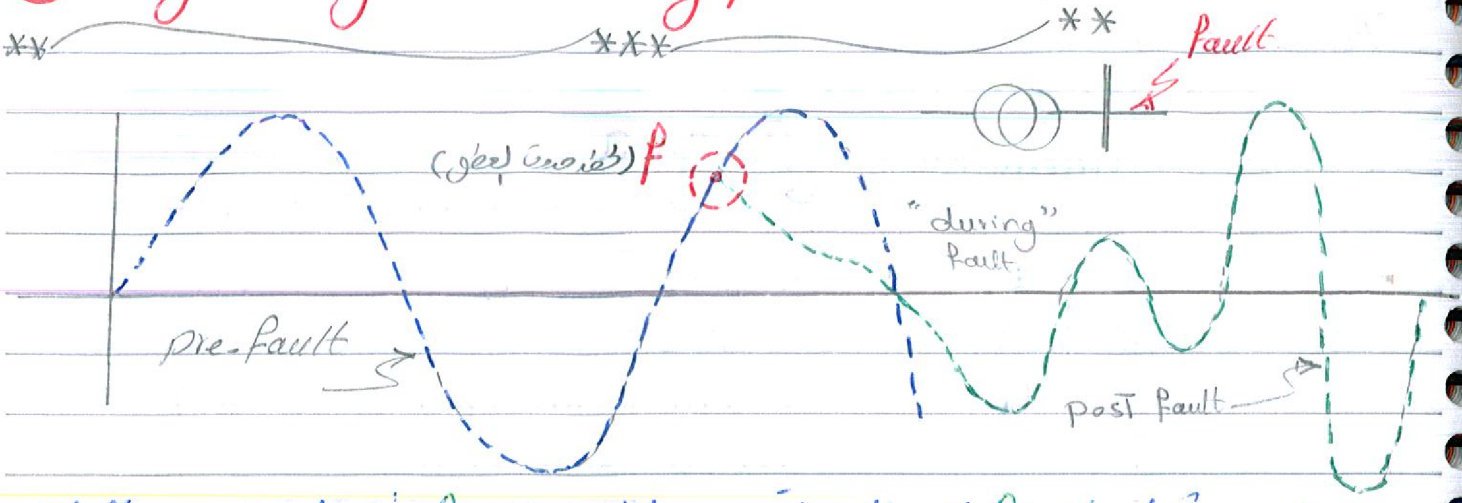
Harmonic	anla		
	$\alpha = 60$	$\alpha = 90$	$\alpha = 120$
2	0.705	0.424	0.171
3	0.352	0.000	0.086
4	0.070	0.085	0.017
5	0.070	0.000	0.017
6	0.08	0.036	0.019
7	0.025	0.000	0.006
8	0.025	0.029	0.006
9	0.035	0.000	0.008
10	0.013	0.013	0.003
11	0.013	0.000	0.003
12	0.020	0.009	0.005
13	0.008	0.000	0.002

⚠ لـ 2nd لاتظهر إلا في inrush ولاتظهر في حالة Fault فاحل إما
① تقوم بعمل Block للريلي وتفصل الجهد الخارجي
② تدخل فيه 2nd مع لـ Restraining Coil وبالتالي تمنع الريلي من التشغيل في هذه الحالة.

في الجدول السابق بالأعلى لاحظت أن الـ harmonic ظهرت لها 2nd H وهي حوالي "70.5%" تأخذها لـ Restrain Coil مع لـ Harmonic وبالتالي تزود لـ restraint وبناء عليه لـ operating تشتغل.
تستخدم بالعربي "87Tr" "Harmonic restraind percentage relay"

دلك هل مشيل عرضه لمشكلة التي تحدث للمولدات بالطبع لا. حيث توجد مشاكل أخرى ولكن سوف نتناول بعضها تالياً ...

② Magnetizing inrush during fault removal.



عند حدوث Fault فإن الجهد ينخفض وبعد ازالة الـ Fault فإن الجهد يعود مرة أخرى وبزيادة مع احتمال وظهور الـ inrush.

ظهور الـ inrush في حالة ازالة العطل "Fault" مما يشكك ويطلق عليه

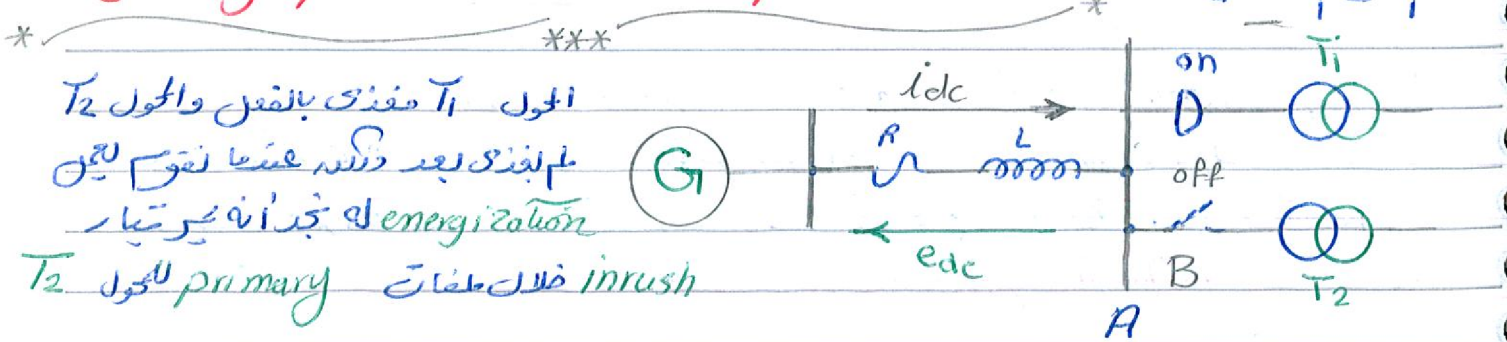
↳ "Magnetizing inrush during fault removal"

وتسمى أيضا تكوين المجال inrush بالتوازي بحيث "energization"

⇒ The Transition may force a dc-offset on the flux linkages and primary current waveforms similar to those encountered during energization would result it should be noted that as there is no remnant flux in the core during this process, the inrush is in general smaller than that during the Transformer energization.

③ Sympathetic inrush phenomena.

"الظاهرة التعاطفية"



المحول T_1 مغذى بالفعل والمحول T_2 لم يغذى بعد وتكمن عندما نقوم بتغذية الـ energization نجد أنه يحدث تيار inrush خلال ملفات primary للمحول T_2

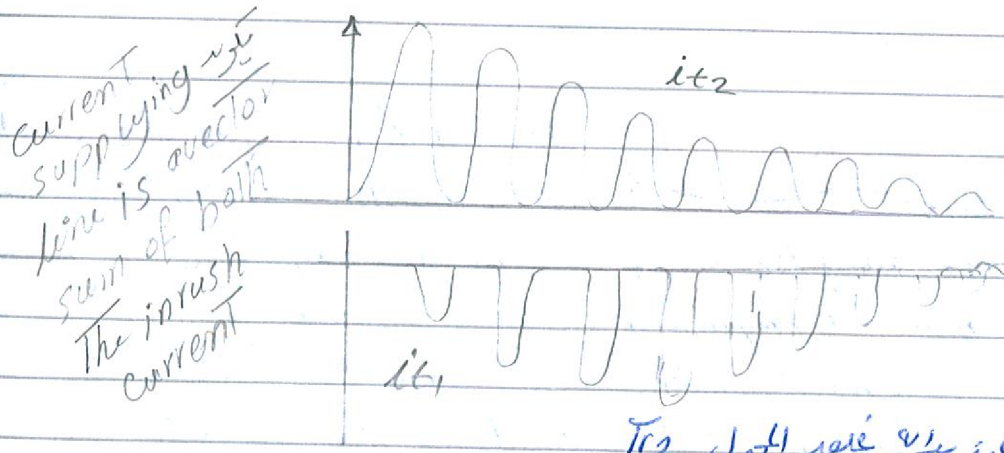
⇒ The inrush current is supplied by the generator through the impedance of the transmission line, the inrush current has a "DC component" which decays with a long time constant this decaying "DC component" produces a voltage drop in the

"resistance" of the Transmission line. The "DC voltage drop" is of apolarity as shown in Figure.

بفرض أنه "positive dc component" تتشوه في إتجاه إيجابي وذلك لوجود Voltage drop و "purely AC" تبقى كما هي في generator

⇒ it's clear that the voltage of Bus "A" acquires anegative DC component "This result in anegative change in the flux linkages of the two Transformer Cores"

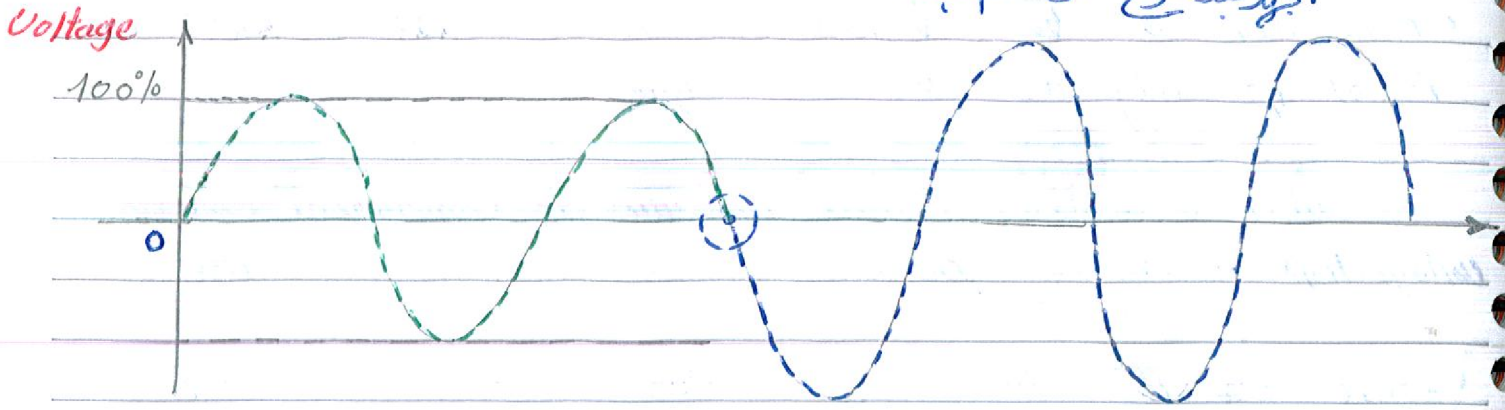
⇒ The effect of this flux change is to take T2 out of saturation and cause apossible saturation of T1 in the negative direction. Consequently, the inrush in T2 decreases in time, and the inrush in T1 increases in the opposite direction

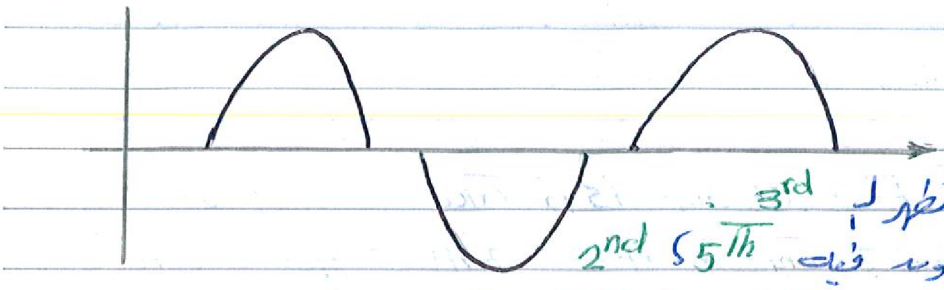


حيث الظاهرة لازم تحدث عند بداية تغذية المحول Tr2
تحدث ظاهرة تشبع مابالظاهرة إيجابية وهي أن المحول Tr2 عند بداية تغذيته يحصل inrush ومابالتالي يحدث تغير في الجهد على الـ Bus Bar "A" ويحصل للمحول Tr1 ومابالتالي لو خرج Tr2 فإن Tr1 سوف يخرج أيضاً.

ملاحظة: أيضاً حيث شيء آخر في شبكة الإضاءة وهو لو المحول شايل حمل وفجأة المحل انقطع من الشبكة فإن الجهد على المحول هيزيد والمحول مسموح له بـ ±5% زيادة فقط ومابالتالي لو زاد عن هذه النسبة Core سوف يدخل في حالة Saturation

"الجهد بعد طرح الحمل من الشبكة"

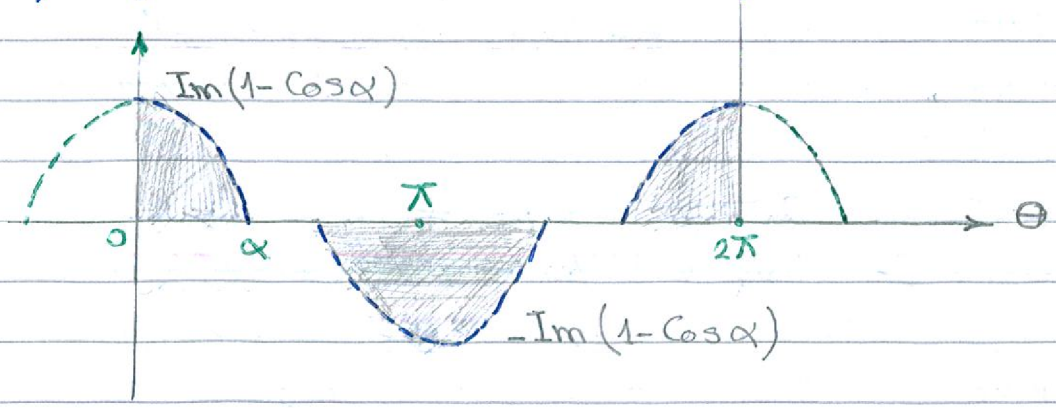




يتحلل Fourier وجد أنه
أعلى قيمة هي 3rd ولا
5Th وأثناء الـ Fault لا تظهر الـ 3rd
وبالتالي الـ inrush هيكون فيه 2nd & 5Th
فأخذ الاثنين دول فلازم على restraining coil وتقوم بعمل
Harmonic restraint percentage relay.

طرح الحمل

③ Transformer over excitation. During load rejection and certain other operating condition, a transformer may be subjected to a steady-state over voltage at it's nominal frequency, During overexcitation. The Transformer flux remains symmetric, but goes into saturation for equal period in the positive half-periods of the waveform.



$\therefore i(\theta) = Im(\cos\theta - \cos\alpha)$, $0 \leq \theta \leq \alpha$

$2\pi - \alpha \leq \theta \leq 2\pi$

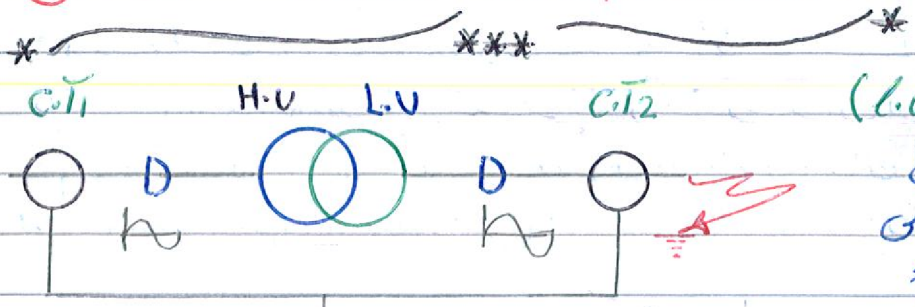
$\therefore i(\theta) = 0$ $\alpha \leq \theta \leq \pi - \alpha$

$\pi + \alpha \leq \theta \leq 2\pi - \alpha$

$i_m = i(\theta) = -I_m(\cos\theta + \cos\alpha)$, $\quad \pi - \alpha \leq \theta \leq \pi + \alpha$

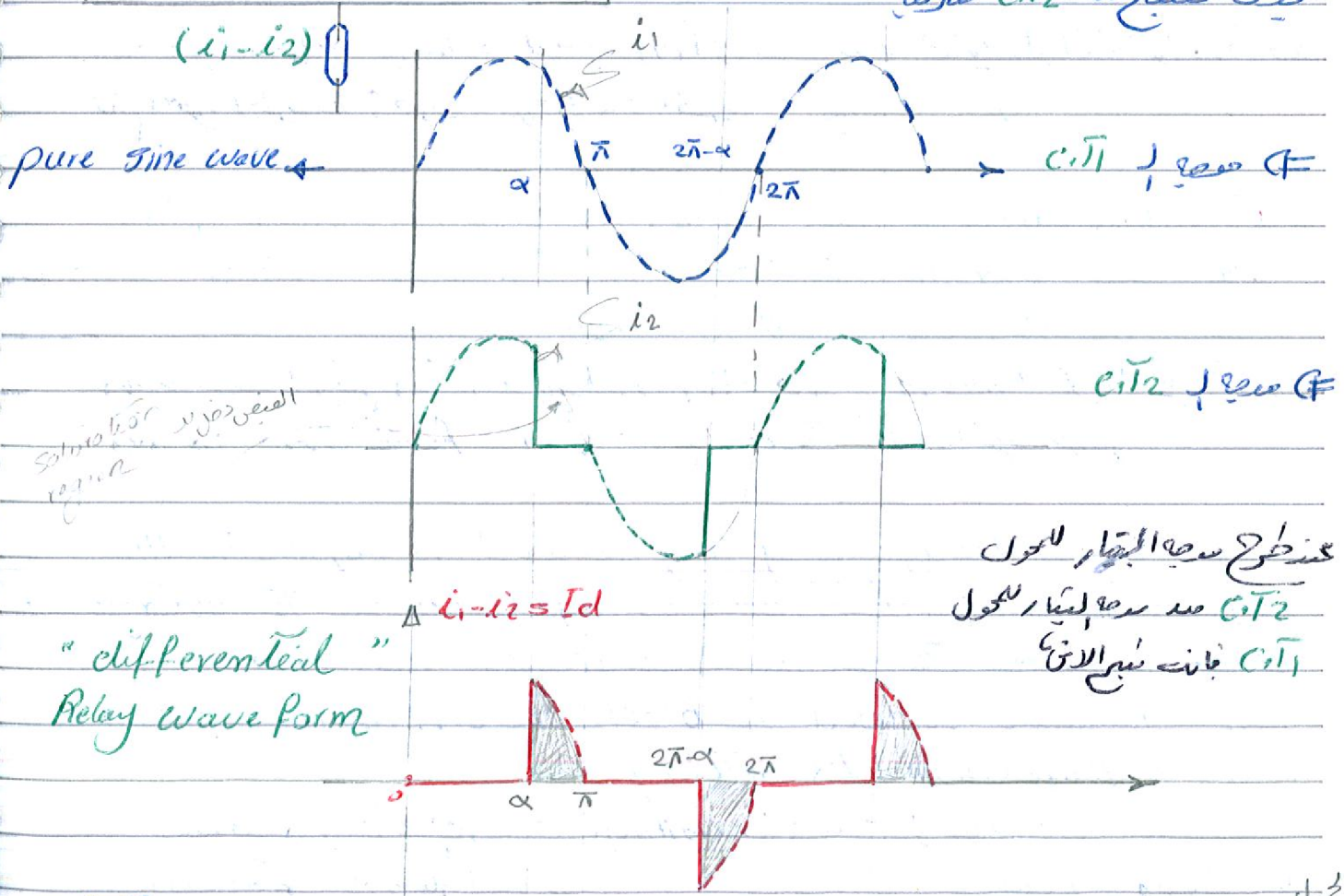
By Fourier : even harmonic is zero . The highest odd harmonic are 3rd and 5Th . 5Th is used as a supervising Component for Transformer overexcitation in The harmonic restrain T percentage relay.

(5) C.T : Current Transformation .



اذا حدث fault خارج (L.V.S) منطقة Zone
حدث تشبع لـ CT2 سريعاً

$(i_1 - i_2)$



صورة لـ CT1

صورة لـ CT2

عند خروج موجة التيار للحمل CT2 عند موجة التيار للحمل CT1 فإنها تشبع الاثنين

The differential Current in The relay will Then equal The "red" wave form which The difference between The unsaturated Current wave form and The saturated Current .

$\therefore Id = I(\theta) = Zero$ AT $\pi < \theta < 2\pi - \alpha$ & $0 < \theta < \pi - \alpha$

$\therefore Id = Im \sin\theta$ AT $\pi - \alpha < \theta < \pi$ & $2\pi - \alpha < \theta < 2\pi$

(3-5) Supervised Differential Relay.

* ** *

differential Relay عند عليه energization تعبير عن أدى الإنطار لبوادة لمنع عمل
delay له تعتبر زمن إستقبل وتكون حوالي عدم الإحساس بتيار لفترة قصيرة عند طرفي عمل
msec وتكلفة هذه الطريقة لرا خطورة كبيرة وهي لو أن الحول كان في حالة اعطاء
energize ثم نريد أن نفعل له ونفرض أنه مازال هناك لعطل الداخلي موجود فورا يزيد
التيار وصفناه للرياي يعرض الحول " fault " تؤدي إلى تدميره مرة أخرى.

لا
وعليه فهذه الطريقة غير سليمة لأنه يترك أي معدة بدون حماية ولو لثانية واحدة فقط
تتم الجود لطريقة أخرى وهي مراقبة الجهد " Voltage supervision "

∴ It may be expected That during The inrush condition, The Transformer voltage would be close To normal. While, during faults The voltage would be much less.

أنه يكون من المتوقع أن يكون جهد الحول لإنشاء حالة " inrush " يكون الجهد طبيعي
وتكلفة عند حدوث " fault " أو في حالة fault يكون الجهد صغير.

So, an under voltage Relay may be used To supervise The differential Relay, if The undervoltage Can be set To distinguish between anormal Transformer and a faulted Transformer. Then, it Could be used To block The differential when it's detect a voltage above it's setting.

ويستخدم في هذه الطريقة " under voltage " مراقب لل " differential "
ويجب أن يكون قادر على التفرقة بين " Faulty & Healthy " ويستخدم لعمل
Block لل " differential " عندما يصل الجهد الى قيمة الـ setting.
وتكلفة هذه الطريقة أيضاً لسبب مقاومة لابد " under voltage " يكون لطيئ العمل
طالما أن يعني " protection become slower " بالرغم من أنه يحتاج إلى
" voltage source for The Transformer relay " وهذه تعتبر تكلفة إضافية على نظام الحماية

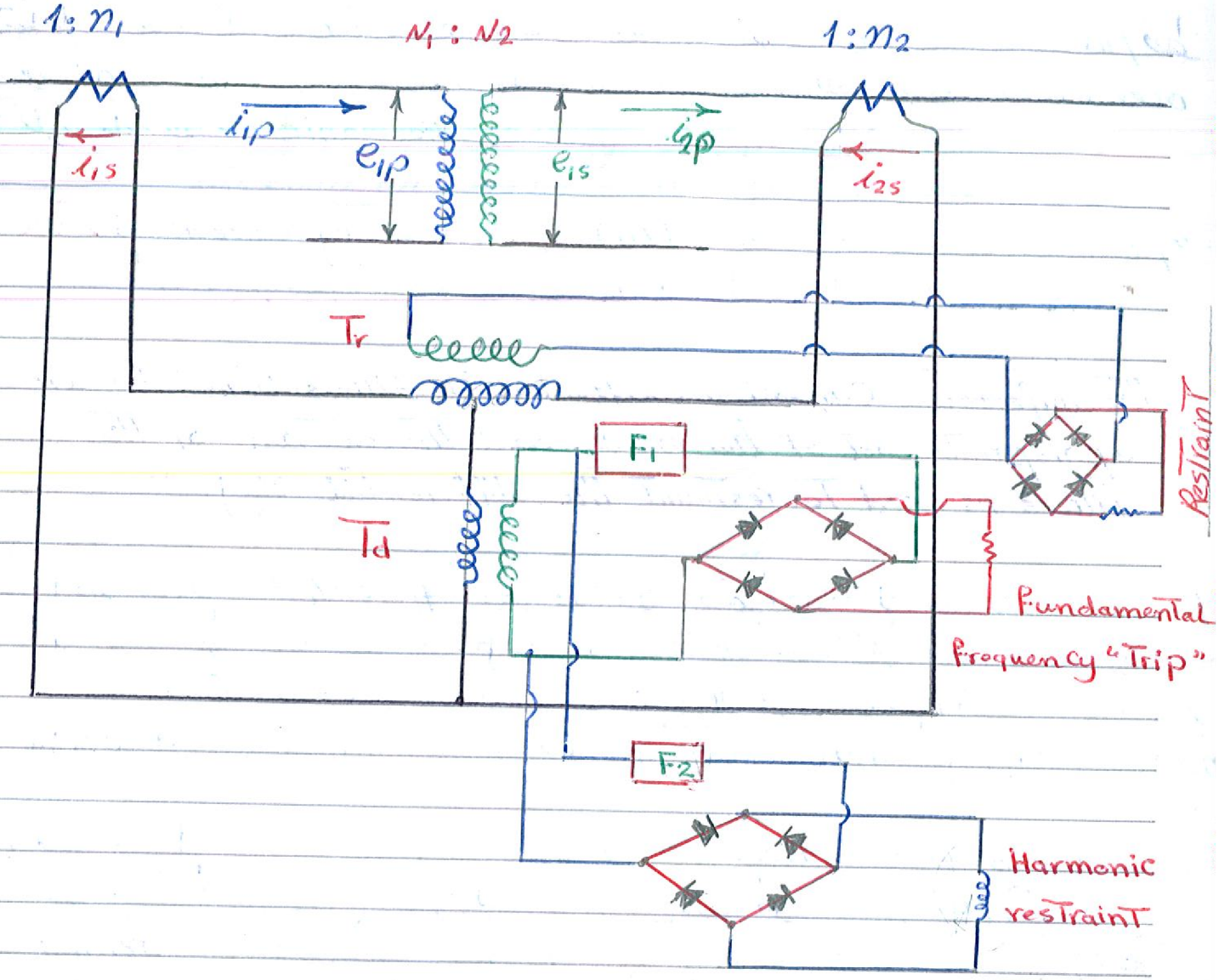


Figure (8-11). Harmonic restraint percentage differential relay. F1 is a pass-filter, and F2 is a block-filter for a fundamental frequency.

يعتمد على إستخدام "large power Transformer" في حالة إ
"Harmonics" إ

The method currently is use on large Transformer is based upon using the harmonic characterization of inrush and overexcitation current.

∴ The differential current is almost purely sinsoidal when the Transformer has an internal fault, whereas it's full of harmonics when the magnetizing inrush current is present, or when the Transformer is over excited.

تيار الـ differential relay في حالة الـ Fault يكون عبارة عن Fundamental فقط
over excitation وكذلك inrush وتلة في حالة internal fault
يكون على شكل "Harmonic".

⚠ الـ operating Current في الـ (87T) يكون "pure sin wave" : أي عبارة عن Fundamental frequency فقط

The differential current is filterd with filters tuned to an appropriate set of harmonic, and the out put of the filters is used to restraint the differential relay.

يتم أخذ تيار الـ differential وعمل فلترة له ويتم أخذ منه الـ Fundamental frequency
وهي التي تحتوي على Harmonic Component كل على حده
Harmonics وهي ستعمل على تشغيل الريلاي ويتم أخذ operating Coil
normal وإضافة إلى Restraining Coil حتى تولد Force تمنع التشغيل في حالة الـ

⇐ في حالة الـ Transformer energization حيث الـ inrush تحتوي على
Harmonic وتكون (8 → 10 I.f.l) فيقوم الـ filter باستخراج الـ Harmonic
setting < Harmonic لو كانت قيمة الـ setting يتم عمل Block على
energization وبالتالي لا يعمل الريلاي عند الـ Fundamental frequency Compon:

In The last Drawing ⇒ The restraint Current is obtained from The Through-Current Transformer (Tr) while The operating Current is obtained Through The differential Current Transformer (Td)

∴ Tr → restraining Transformer.
∴ Td → operating Transformer.

⇒ The differential Current is filterd Through a fundamental frequancy band-pass filter To provid The normal operating Current (filter f_1)
⇒ The differential Current is passed Through a fundamental frequency blocking filter (Filter F2)

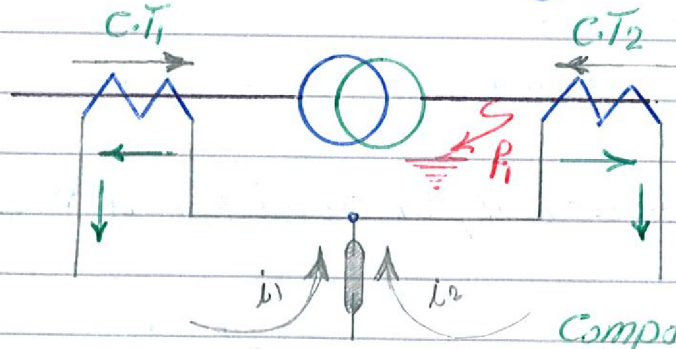
F1 → operating coil لفصل Fundamental يقيس

F2 → differential coil مع تيار Harmonic يقيس
وضع setting يقل بها Blocking على
Blocking on (87Tr) بالتالى على Fundamental

⊕ عندما يكون تيار Harmonic Current إلى Fundamental Current
أكبر من أو يساوى 15% يتم على Blocking on differential relay

when $\left(\frac{I_{2f}}{I_{1f}} \geq 15\%\right)$ This setting is sufficient To prevent operation of The differential unit for all in rush condition

⚠ with more modern steel being used in modern Transformer it has found That often The harmonic content of The inrush current may be as low as (7%)



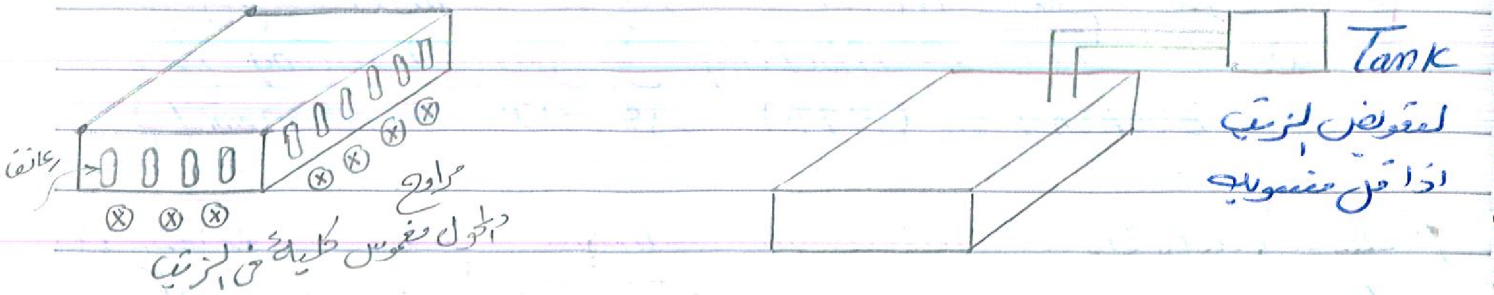
عند حدوث عطل داخلى internal fault
نجد أن C.T2 عالى يجب أن تشبع
وبالتالى ينتج عنه 3rd Harmonics
فيجب التأكد من أن هذا
Component لا يمنع التشغيل فى هذه الحالة وهى حالة "
" interned fault

⊕ Care should be taken To make sure That Third harmonics Component produced in asaturated C.T secondary current during an internal fault is not of sufficient magnitude To block Triping of The differential relay.

بعض الأجهزة الوقائية الحديثة تستخدم 2nd وكذلك 5th وتضاف إلى Restraint Coil
over excitation أو inrush فى حالة Relay Triping حتى تولد قوة تمنع عمل
Relay Blocking فى حالة

Internal fault with C.T Saturation

مثال توضيحي لـ "Oil Transformer"



∴ What do you mean by Restricted Earth Fault protection ?

Restricted Earth Fault protection for Generator and Transformer. يستخدم هذا النوع من الحماية لكل من المولد والمحول بشرط أن يكون

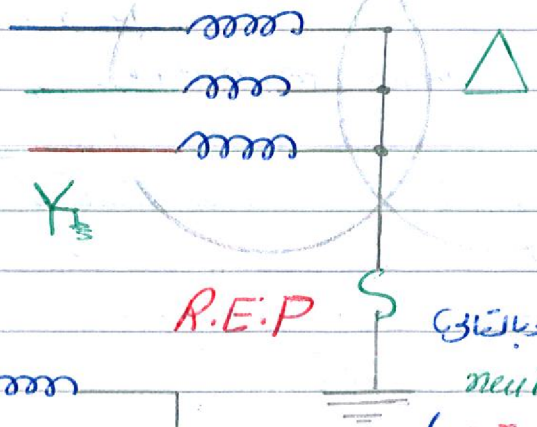
neutral Earthed حتى

"R.E.P" بالتالي لا نستطيع عمل "Solid isolated" = يعني لو مولد :

أيضاً لو المحول ∴ Y-Y or Δ-Δ

لابد أن تلف لها winding (R.E.P) طرف أرضي حتى يتم عمل

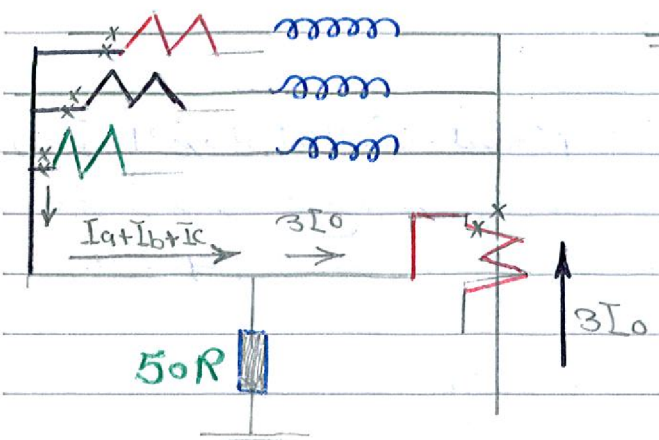
∴ This type of protection is usually applied for a "Y" earthed winding



لـ "R.E.P" هو "Differential" لـ Relay لـ "Zero sequence" Current

هذا التيار يمر في neutral بالتالي neutral يتم وضع لها CT في

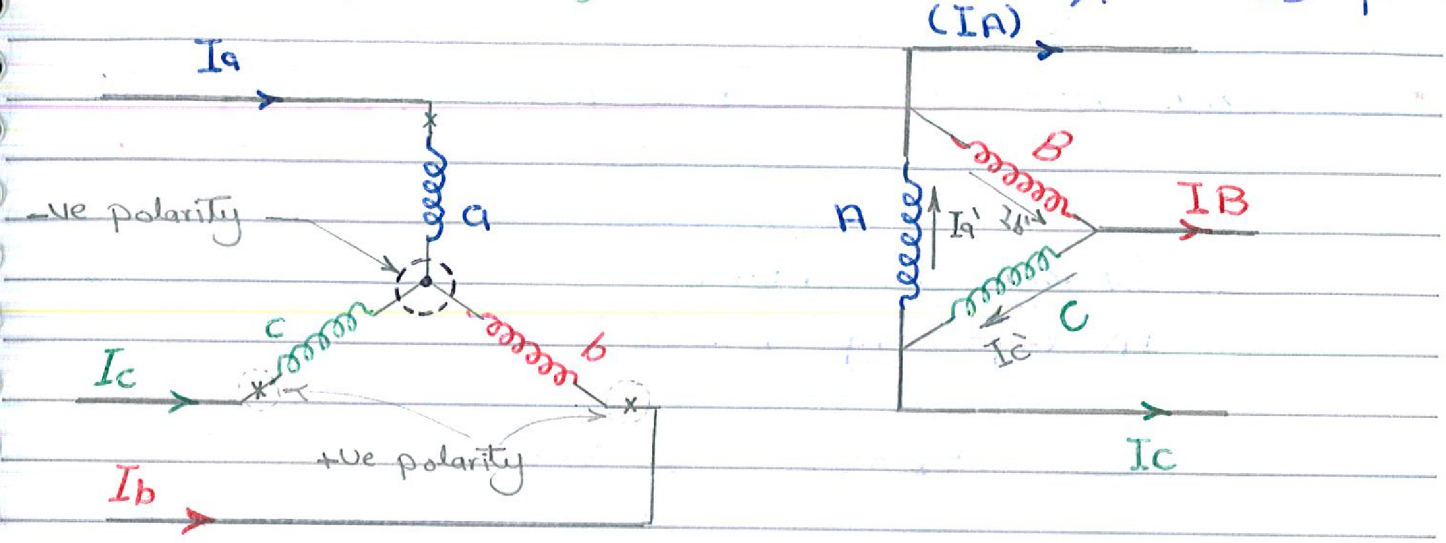
$(3I_o = I_a + I_b + I_c)$

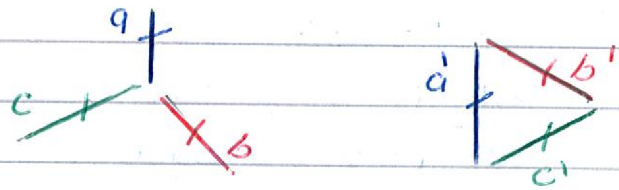


"3ϕ power Transformer Vector group"

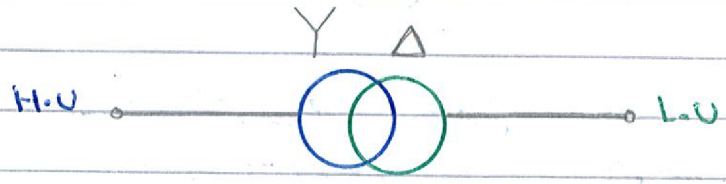
* *** *

طاص لعلاقات بين الـ "Vectors" سواء كانت تيار أو جهد (I, V) في أوجه الابتدائي والثانوي عند وجود "point of angle vector views"





⚠ دائماً نرسم الحول هكذا أي كل winding في الابتدائي رأسياً ونياظرها في الثانوي .

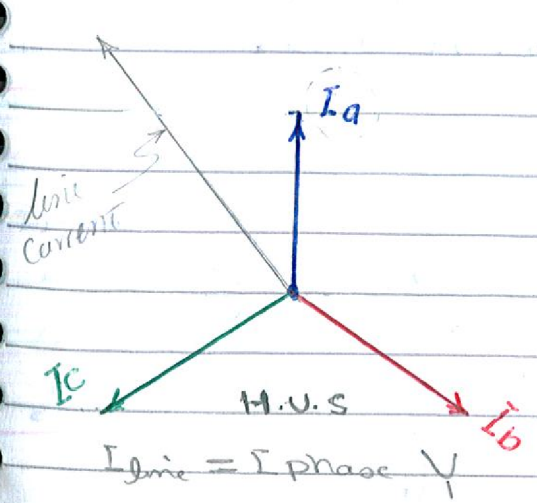


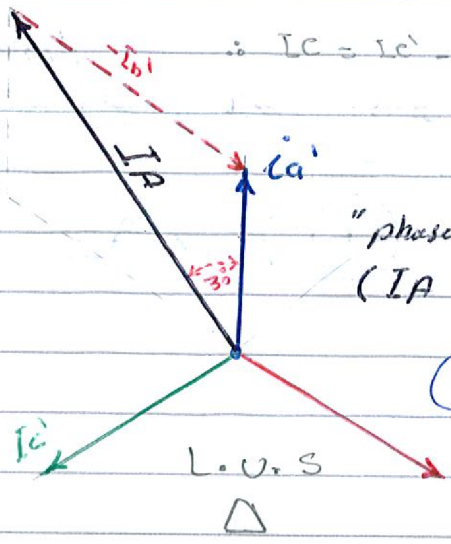
* يتم عمل الـ "Vector group" بناءً على الـ "line Current" ، ولكن على "phase Current"

$\therefore I_A = I_a - I_b'$

$\therefore I_B = I_b - I_c'$

$\therefore I_C = I_c' - I_a$





الـ (IA) بينك وبين الابتدائي "phase shift" أي بين (IA & ia) نرجع لزاوية phase shift.

small letters تأخذ L.V.S في "Delta" لـ
Capital letters تأخذ H.V.S في Stare لـ

Y d

عشان أدور على لـ "vector group" أشوف لـ L.V. Current بـ lag
بمقدار إيه صح
H.V. Current

∴ IA lags (-30 Ia)
∴ IA lags by (330 Ia)

∴ clock 12 * 30 → 360°

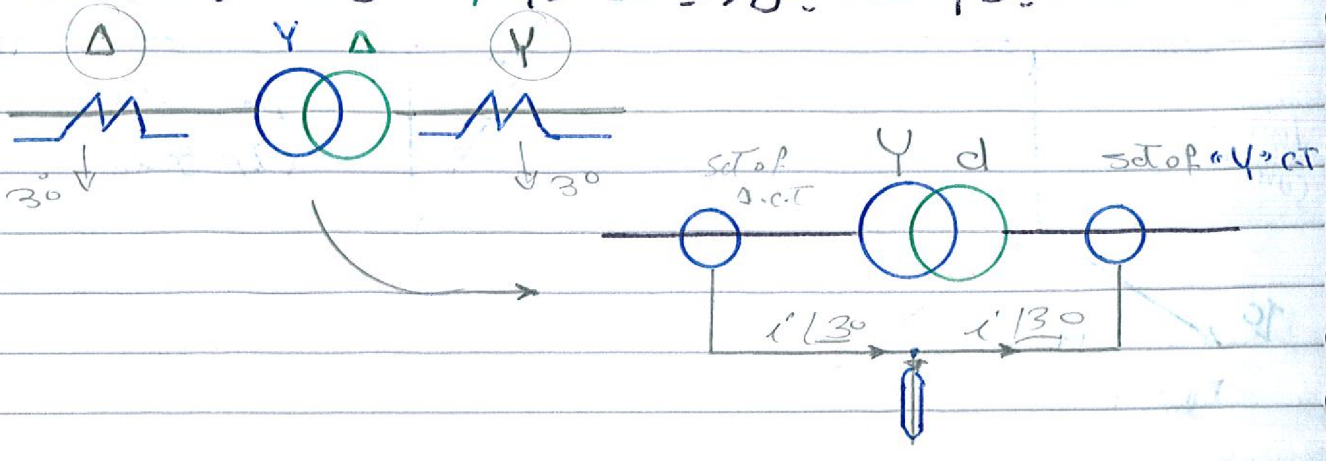
∴ what do you mean by Y d 11 ?
H.V L.V

Stare تكوين (H.V) توصيلة لـ ← Y H.V
delta تكوين (L.V) توصيلة لـ ← d L.V
clock no. (11) ← 11

← وهذا يعني أن تيار لـ "H.V" متأخر عن تيار لـ "L.V" بزاوية 330°
يعني أن التيار (IA) متأخر عن (Ia) بمقدار 330°

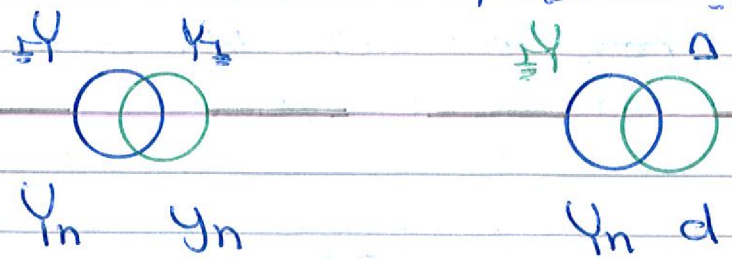
Y d1 → تيار IA متأخر بزاوية (30°) عن (Ia)

⚠ توحيد توصيلات محطة يتخلى لـ "phase shift" ليساوي صفر
* يعني لـ Δ يتعمل زاوية 30 ولـ Y تلاقي "أي طرح لها زاوية"



* شبكات الـ "H.V.S" أولاً نعلمه Capital letter دلبناي small letters.
(1 (5 (11) "phase shift" دائماً يكون" ثم بعد ذلك لازم نعرف لـ"

لو لـ Y متعارضة لابد من تعريف أي تعريف لـ" neutral



⊛ Three phas (3Φ) Transformer differential Relay.

* *** *

∴ 2 winding (secconelary - primary)
∴ 3 winding (secondary - primary - tertial)

لحماية لـ "3Φ Transformer" تحتاج إلى تيارات من لـ "primary" إلى "secondary" لا "3Φ" تقارن فرقياً لتحقيق diff protection of 3Φ Transformer

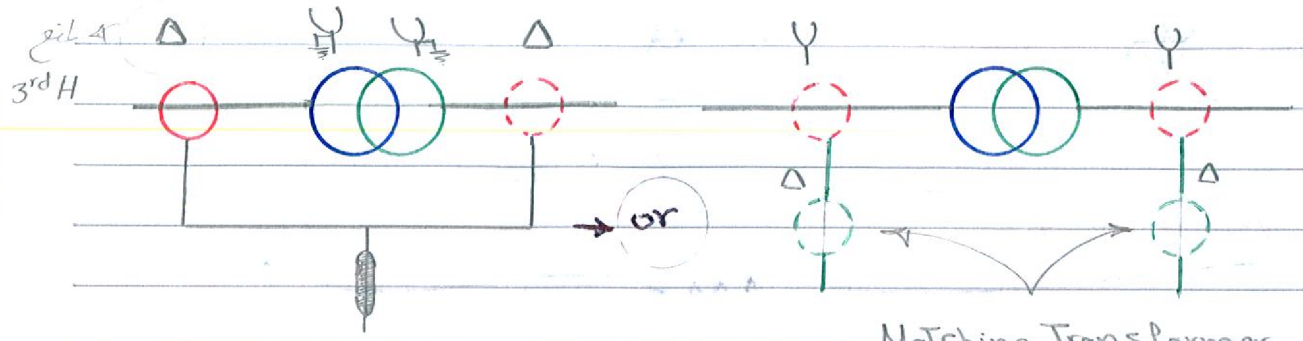
3Φ Transformer
- 3Φ Transformer. (wye delta)
- 3 single phase Transformer.

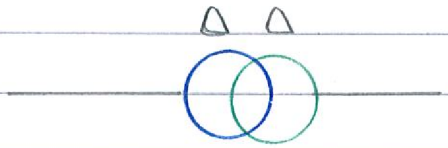
∴ in 3 single phase → Current in primary and secondary in phase
in wye_delta → one Current on the wye_delta sides of 3Φ Transformer are out of phase by (30°)

دائماً في الشبكات الحول يوضع بعد الهول ويولد خرجه أهلاً كبرى على 3rd Harmonics وأنا بخاف من 3rd Harmonics أي أزل عشه تعمل أي حاجة لـ setting لحتى تعمل Block على differential في الحالة normal وبالتالي لازم أعمل Block أعلى بحيث ميفشلش لحالي وبالتالي علشان أعمله أعلى توصيله شكلها Delta لأنه معروف أنه توصيله Delta تعوم تجيس معها 3rd Harmonic تلقائي ولا تخرجها تعكس توصيله لـ Star للشكل.

∴ This phase shift Cause a standing differential Current

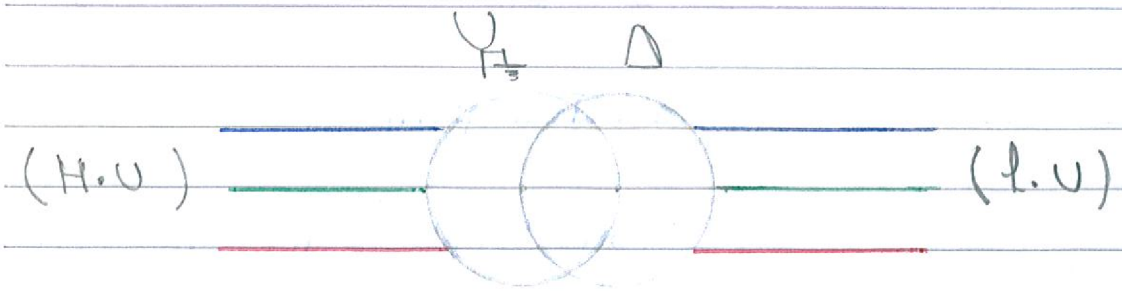
∴ The diff Culty is resolved by connecting The Current Transformer on wye side of The power Transformer are connected in Delta , and The Current Transformer on The delta - side of The power Transformer are connected in wye.



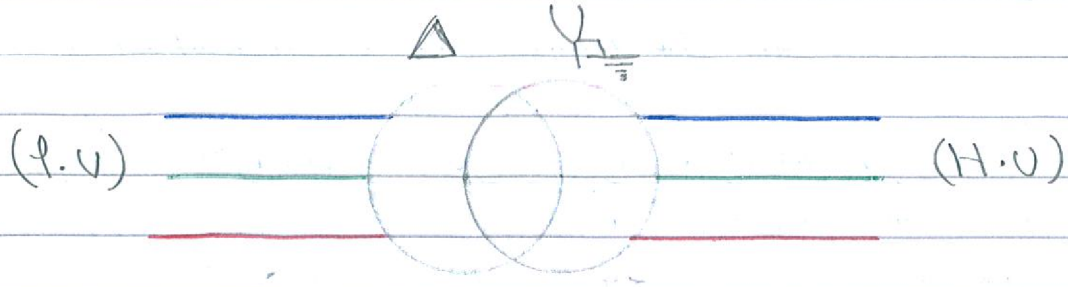


لو الجول الرئيسي Δ/Δ

"Max full load" لازم أشتغل عليه "diff . relay" design لـ وحتى يتم عمل



" 3ϕ power Transformer "



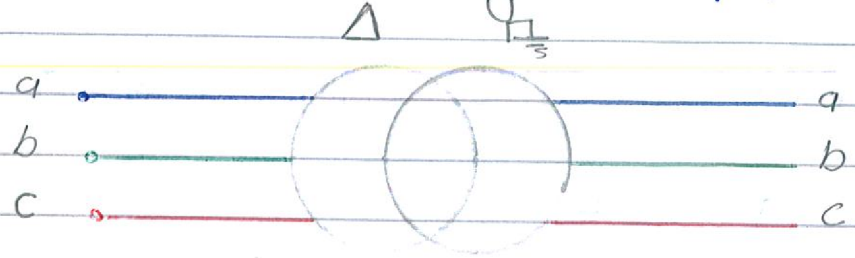
يتم حساب I.L.V ، I.H.V وسطوح كتير لـ CT's ratio ثم بعد ذلك نعمل

design for Transformer differential protection Relay "87Tr"

Example 8.4 . Consider The Three-phase Transformer bank shown in The figure, The Transformer is rated 500 MVA at 34.5 "delta" / 500 "wye" KV.
∴ design The protection system for 3Φ Transformer. Yd1

∴ أول

* First we Calculate The line Current in "H.V.S" & "L.V.S"
line Current أول شيء نحسب تيار الخط



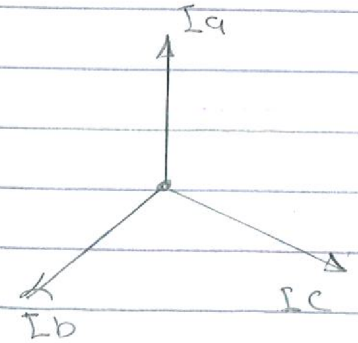
"L.V" "H.V"

$$\therefore S = \sqrt{3}\, I_{H.V}\, V_{H.V} = \sqrt{3}\, I_{L.V}\, V_{L.V}$$

$$\therefore I_{H.V} = \frac{500 * 10^6}{\sqrt{3} * 500 * 10^3} = 577.35\ A$$

$$\therefore I_{L.V} = \frac{500 * 10^6}{\sqrt{3} * 34.5 * 10^3} = 8367.4\ A$$

* Three phase Current on The Y (wye) side are.
phase (a) ناخذ (H.V) لانه ref وتكون



$$\therefore I_a = 577.35 \angle 0^\circ = (577.35 + j0)\ amp$$

$$\therefore I_b = a^2 I_a = 577.35 \angle -120^\circ$$

$$\therefore I_b = -288.67 - j800\ amp$$

$$\therefore I_c = a I_a = 577.35 \angle 120^\circ$$

$$I_c = (-288.67 + j800)\ amp$$

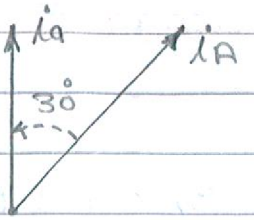
* The current on the delta side of the power transformer are given by.

L.V.S

∴ Yd1 → I_A lags I_a by (+30°)

∴ $I_A = 8367.39 \angle 30^\circ$ « ref »

$= 7246.38 + j4183.7)$ amp



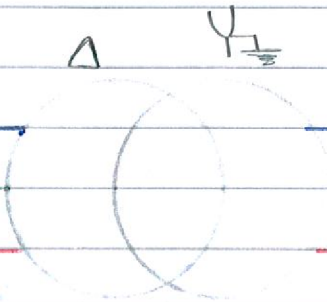
∴ $I_B = I_A \angle 90^\circ = -j8367.39$ amp

∴ $I_c = I_A \angle 15^\circ = -7246.38 + j4183.69)$ amp

∴ $I_A = 7246.38 + j4183.7$

∴ $I_B = 0 - j8367.4$

$I_c = -7246 + j4183.64$



$I_a = 577.35 + j0$ amp

$I_b = -288.67 - j800$ amp

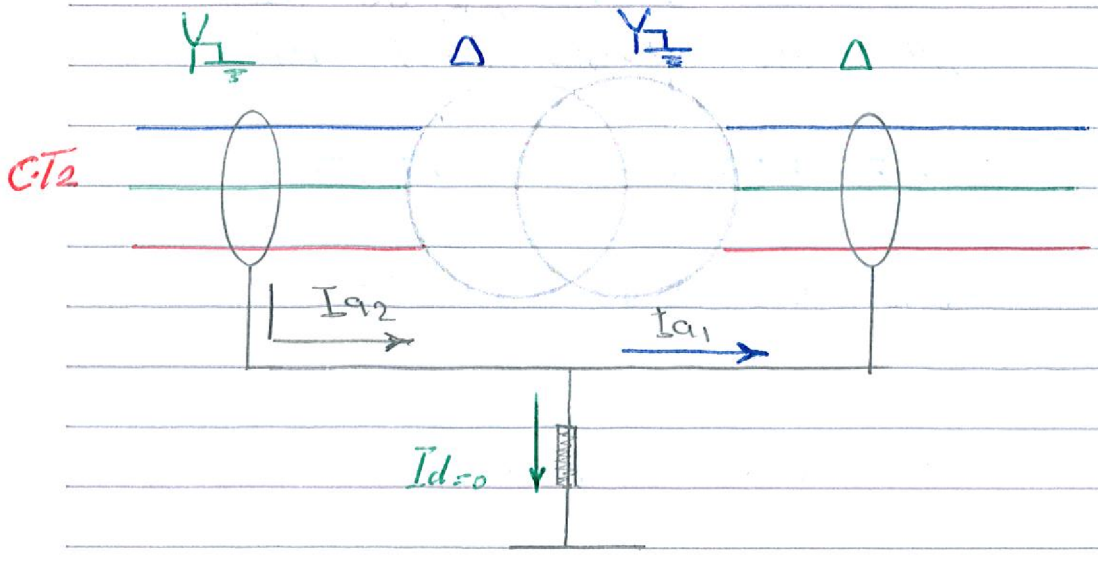
$I_c = -288.67 + j800$ amp

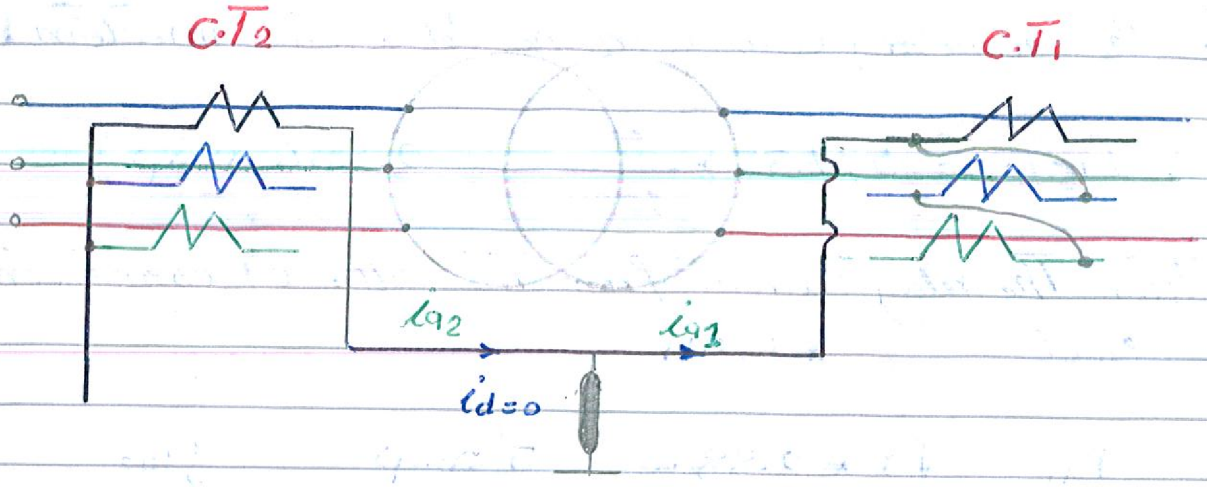
* أما عايزين نعمل protection system

لـ "Y" بتخرج زاوية zero .

لـ "Δ" بتخرج زاوية 30 .

وعشان نعمل تعادل لـ phase angle بنعمل وضع مجموعة لـ C.T's في ناحية الـ delta وكذلك مجموعة لـ C.T's في ناحية الـ "stare" على شكل delta على شكل دلتا





نبدأ بحساب C.T ratio

∴ Find out C.T ratio starting with the C.T which is connected in star from "L.V.S"

∴ The primary current = 8367.39 amp

we must select the nearst standard .

∴ CT ratio = 9000/5 = 1800 ⟹ $n_{c2} = 1800$

∴ $i_{a2} = \frac{8367.39}{1800} = 4.65$ amp

$(i_{a2} = i_{a1})$ وهتي بتكون تيار ابتدائي $(i_d = 0)$ فإنه لازم

∴ line تيار = $\sqrt{3}$ I phase (in delta connection)

$I_{a\,C.T_1} = 577.35$ amp

∴ $i_{a2} = i_{a1} = \sqrt{3}\, I_{a\,C.T_1}$

$i_{a2} = i_{a1} = 4.65$ amp

∴ I_{a1} (secondary current for C.T1) $= \frac{4.65}{\sqrt{3}} = 2.68$ amp

Then the turns ratio of the C.T in "H.V.S"

∴ $n_{c_1} = \frac{577.35}{2.68} = 107.15$

∴ Select the nearst value ∴ $n_{c_1} = \frac{1000}{5} = 200$

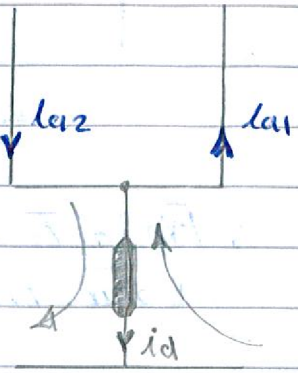
∴ $n_{c_1} = 200$

∴ Then the secondary current in the delta C.T connection.

$$\therefore I_{a\,C.T_1} = 577.35 * \frac{5}{1000} = 2.886 \text{ Amp}$$

∴ Then the relay current from the delta C.T connection equal $= \sqrt{3} * I_{a\,C.T_1}$

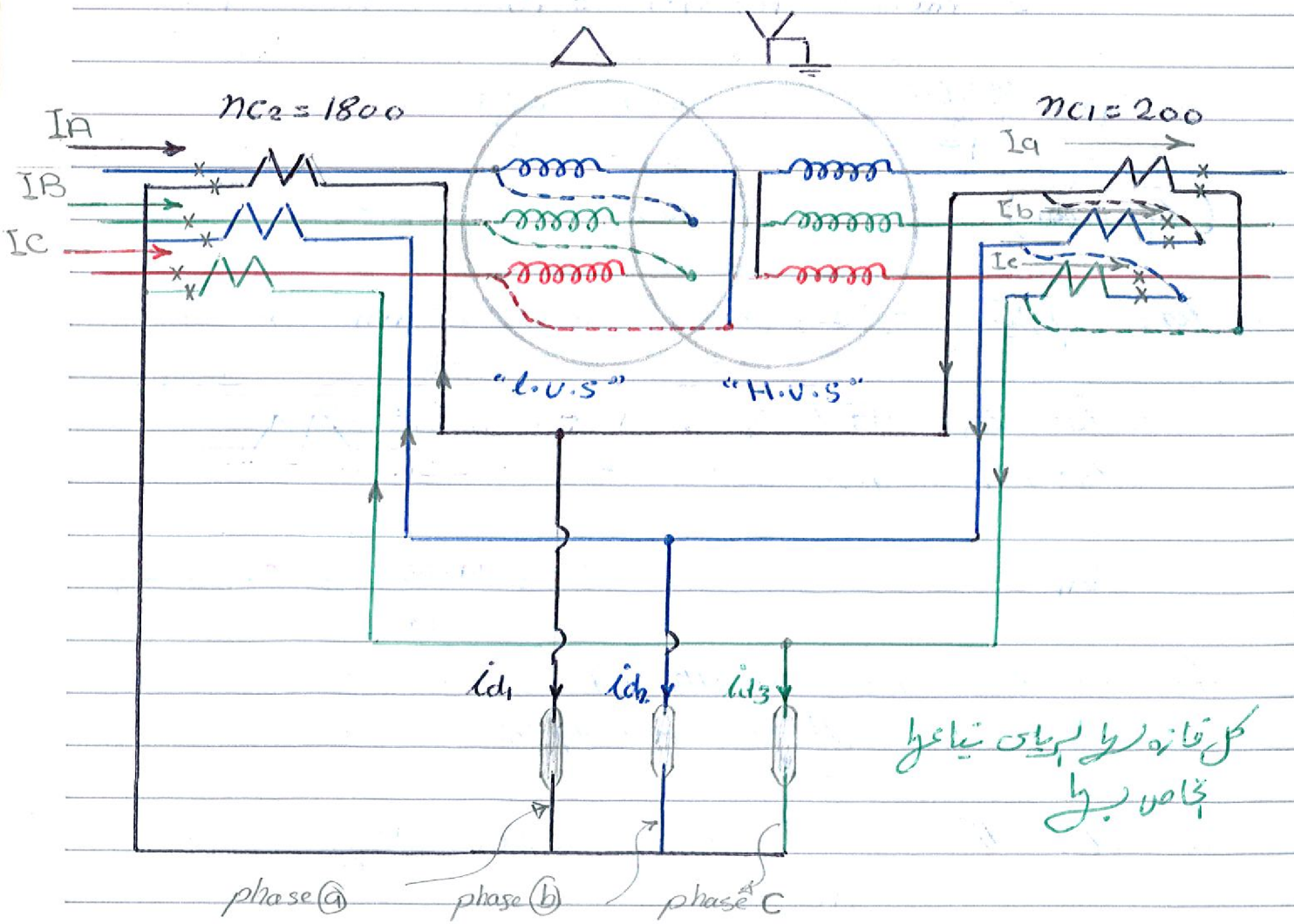
$$I_{a_1} = \sqrt{3} * 2.886 = 5 \text{ Amp}$$



∴ $I_{a1} = 5$ Amp & $I_{a2} = 4.65$ amp

↳ This is not exactly equal to the line currents produced by cts on "34.5 KV"

$$\therefore i_d = i_{a_1} - i_{a2} = 5 - 4.65 = 0.35 \text{ A}$$



كل فازة لها ريلاي تياعها
لخاص بها

$\therefore n_{c_2} = 1800$

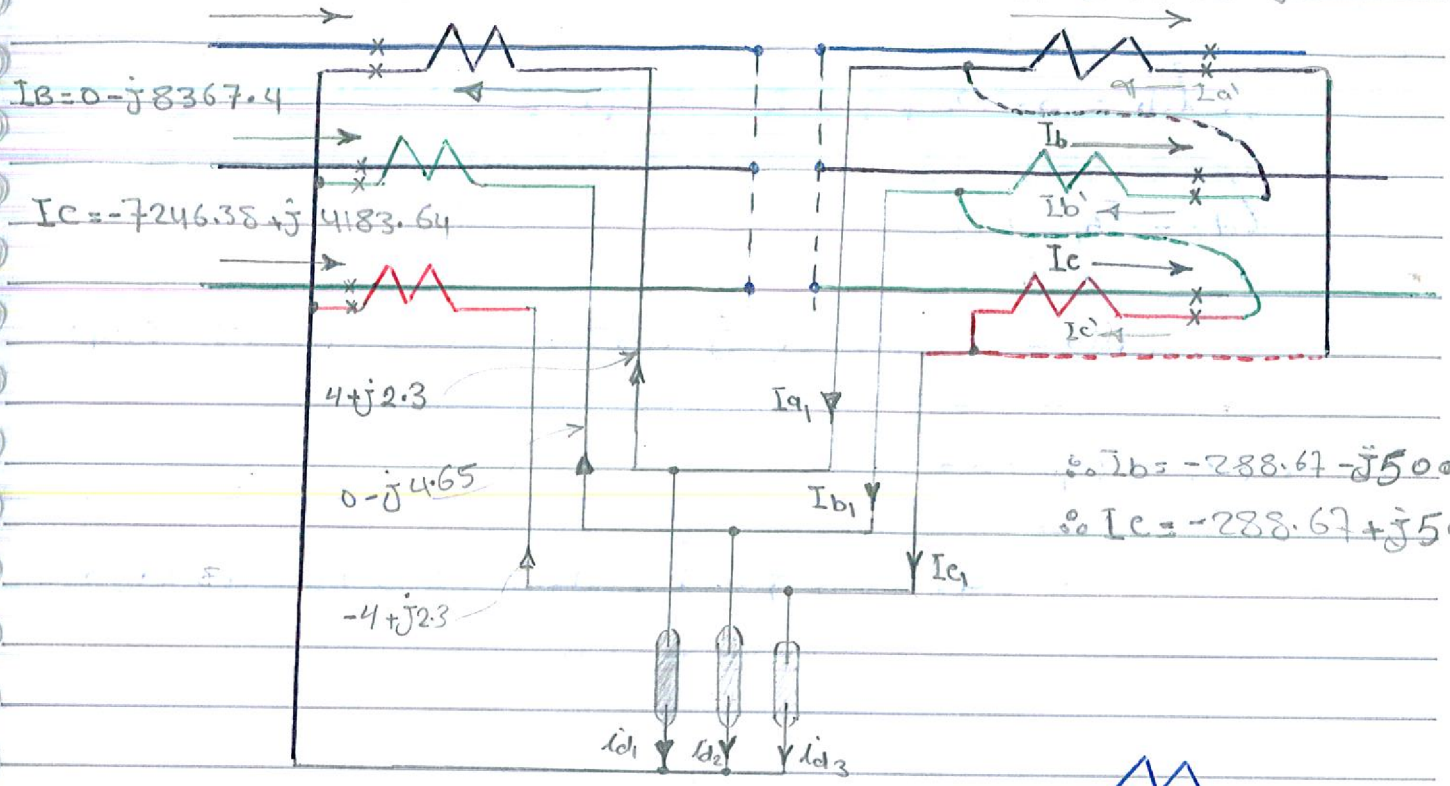
$\therefore n_{c_1} = 200$

$I_A = 7246.38 + j4183.7$

$I_a = 577.35 + j0$

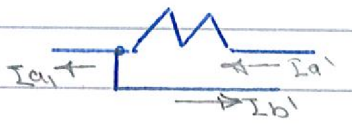
$I_B = 0 - j8367.4$

$I_c = -7246.38 + j4183.64$



$\therefore I_b = -288.67 - j500$

$\therefore I_c = -288.67 + j500$



$\therefore I_{a1} = I_a' - I_b'$

$\therefore I_a' = \frac{577.35 + j0}{200} = 2.886 + j0$

$\therefore I_b' = \frac{-288.67 - j500}{200} = -1.44 - j2.5$

$\therefore I_{a1} = (2.886 - j0) - (-1.44 - j2.5) = 4.32 + j2.5\ A$

$\therefore I_{b1} = I_b' - I_c'$

$\therefore I_b' = -1.44 - j2.5\ A$

$\therefore I_c' = -1.44 + j2.5\ A$

$\therefore I_{b1} = -1.44 - j2.5 - (-1.44 + j2.5) = -j5\ A$

$\therefore I_{c1} = I_c' - I_a'$

$\therefore I_{c1} = -4.32 + j2.5\ A$

$\therefore I_{d1} = I_{a1} - I_{a2} = 4.32 + j2.5 - 4 - j2.3$

$\therefore I_{d1} = 0.32 + j0.2$ Amp

$\therefore I_{d2} = I_{b1} - I_{b2}$

$\therefore I_{d2} = 0 - j5 - (-j4.65) = 0 - j0.35$ Amp

$\therefore I_{d3} = I_{c1} - I_{c2}$

$= -4.32 + j2.5 - (-4 + j2.3) = -0.32 + j0.2$

---

3 Zeg Zeg Transformer ماهى فائدة ؟ — تعريف

① لستخدام لعمل تنظيم للجهد " Voltage Regulation "

② لإستخدام الرئيسى لها إذا لو عندى دائره ليس فيها "Earthing point" أو neutral point فيتم استخدام Zeg Zag لعمل Earthing أى تسرب بال Zero sequence بالمرور .

---

* Volts-per-Hertz protection.

∴ Transformer cores are normally subjected to flux levels approaching the knee point in their magnetizing characteristic.

⇒ The rated voltage at rated frequency maybe "10%" below the saturation level.

⇒ if the core flux should exceed the saturation level, the flux patterns in the core and structure would change, and significant flux levels may be reached in the transformer tank

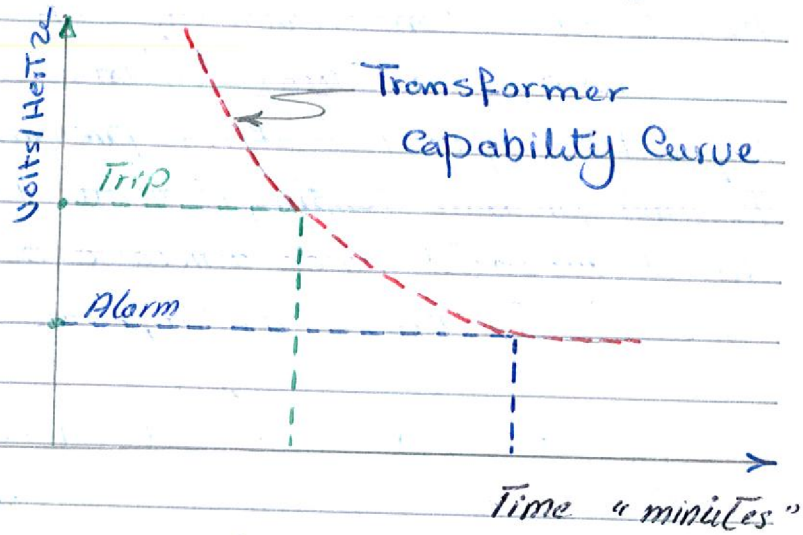
And other structural members. As These are not laminated very high eddy Currents are likely To result, producing severe damage To The Transformer.

اوزاد الفيض في الحول عند حد التشبع فإننا نجد أن هذا الفيض في الملف يحدث
وبالتالي الحمل إختلاف في الفيض عند يصل إلى حد الخزاد تتباع الحول وبعض
الأجزاء الأخرى ولا نا عبارة عن حديد معدن وليست نحاس فإن هذا الفيض
يولد emmf على الـ structure وبالتالي يحدث very high eddy current
عند يؤدي إلى تدمير الحول.

$\therefore U_m = E.m.f$

$= 4.44 \phi f N * 10^{-8}\ U$

$\therefore flux(\phi) = k \frac{E}{f}$



هذا الريلاي ليعمل " over flux Relay " هذا الريلاي
Trip وبعض Voltage / HerTz عند قيمة معينة N (alarm) بعض
عند قيمة ثانية Volts / Hertz.

$Alarm = \frac{U}{f} = 1.05 \frac{Volts}{Hz}$ & $Trip = 1.1 \frac{Volts}{Hz}$ كما ذكرنا سابقا

oil Transformer

يوجد بداخله → Hermédicaly → pressure switch and Thermal Relay

يوجد بداخله تحويل → with Conservator →
- pressure switch
- Thermal Relay
- Buchholz Relay

(8-8) Non-Electrical protection Devices.

. pressure Devices

. Avery sensitive form of Transformer protection is provided by relays based upon amechanical principle of operation .
When a fault occure inside an oil-filled Transformer tank, the-Fault arc produces gases, which create pressure waves inside The oil in The conservator type of tank construction, which is more common in Europe. hence "Rate-of-Rise pressure Relay" responds only to rate of rise pressure resulting from internal arcing The main pressure sensing element is a pressure actuated micro-switch mounted inside a metalic bellows. Dynamic pressure sequeeze The bellow and operate The micro switch.

∴ Rate of rise pressure relay is generally arranged to trip The Transformer , it can mounted on The tank

عندما يحدث Fault بداخل المحول المملوء بالزيت فإنه ينتج "Arc" درجة الحرارة بتاعته تعمل على تحليل الزيت إلى غاز عا يُنتج فقاعات صغيرة تضغط داخل المحول وتكون هو موضوع على إتصاله "pressure Relay" تقوم فقاعات الضغط بالضغط على "Micro switch" بالغلق وتكون مصمم لإرسال إشارة لـ "Trip" إلى المحول.

⚠ لو لـ "Differential Relay" إشتغل ولـ "pressure switch" لم يعمل فإننا نعتمد على "التقييد" لتوصيل المحول للخلل في الخدمة

أما لو "pressure switch" إشتغل ولم يعمل الـ "Differential Relay" فإننا لا نقوم بتوصيل المحول مطلقاً، لأنه المحول في هذه الحظة يكون "بيغلي"

"Buchholz Relay" قبل عمل ما يسمى "pressure switch" يقوم بتنفيس عمل لـ "pressure switch" ولكنه يحمي المحول أكثر من لـ "pressure Relief"

Buchholz Relay "Gas Actuated Relay"

principle . The incipient Fault in Transformer tank below oil level actuate Buchholz relay so as to give an alarm

لإعطال الإبتدائية في المحولات التي تحتوي على تانك فإنه يقوم بتشغيل البلوف لكي يعطي إنذار

The arc due to Fault Causes decomposition of Transformer oil The product of decomposition contain more Than "7%" of hydrogen gas. which being leght , rises upwards and tries to go into the Conservator.

طالما فلتنا أن الـ Arc يعمل على تحليل الزيت وناتج التحليل يكون "7%" من غاز الهيدروجين ويكون بالطبع ذو كثافة أقل أي أخف فيصعد إلى الخزان "Conservator" ويكون الـ Buchholz Relay يكون موضوع على الماسورة المؤدية إلى الخزان.

The Buchholz Relay is filled in the pipe leading to the conservator

يكون مزود بعوامتين أحدهما علوية والأخرى سفلية كل عوامة تحتوي على "مفتاح زئبقي" عندما تتحرك العوامة تتحرك الزئبق وتغلق دائرة الـ "Trip & Alarm"

upper Floating → "Alarm circuit" خاصة العوامة العلوية "
lower Floating → "Trip circuit" خاصة العوامة السفلية "

∴ Buchholz relay give an alarm so That The transformer can be disconnected befor The incipient Fault grows into a serious one.

عندما يحدث عطل حقيقي بداخل المحول فإن ضغط التانك يزداد ويندفع الزيت تجاه الخزان وأثناء الإندفاع يمر خلال "البلوف" فتتحرك العوامة السفلية وتغلق الـ "contact" الخاص بدائرة الـ "Trip" الخاص بمفتاح الـ "Circuit Breaker" للخروج بمفتاح مساوي

when a serious short circuit occure in The transformer, The pressure in the tank increase, The oil rushes towards The Conservator, while doing so it passes The Buchholz Relay, The baffles "plates" in The Buchholz Relay get pressed by rushing oil, Thereby They close

another switch which in turn closes the Trip circuit of "C.B" Thereafter the Transformer is removed from service.

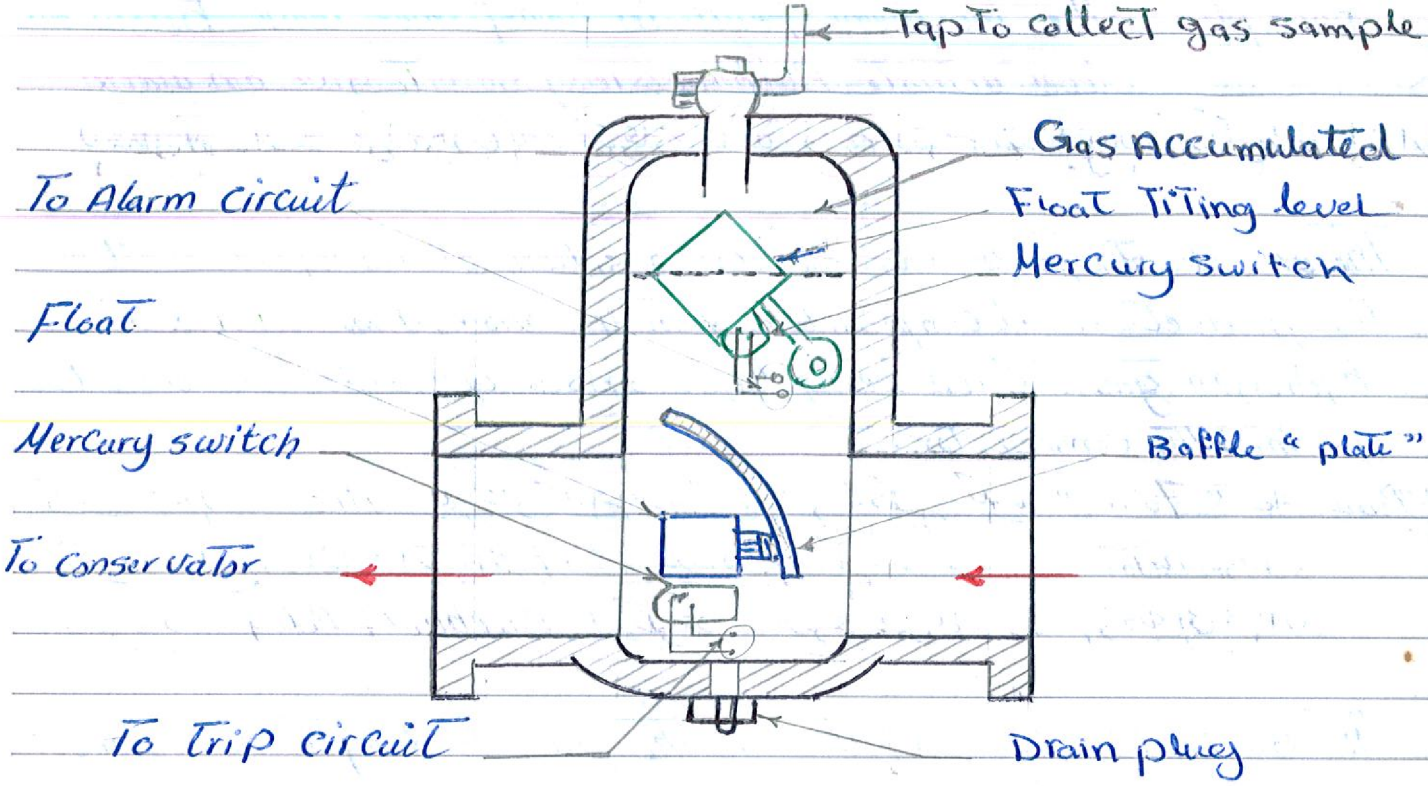


FiG. " Bochholz relay principle "

The decomposition of Transformer oil starts at about « 350° C »

سبعت

يبدأ البترول في التحلل الى زيت عند درجة حرارة تصل الى "350° C"

"Arc Core" are عند صدمة "500" داخل الحول درجة حرارة تصل الى "9000°C"

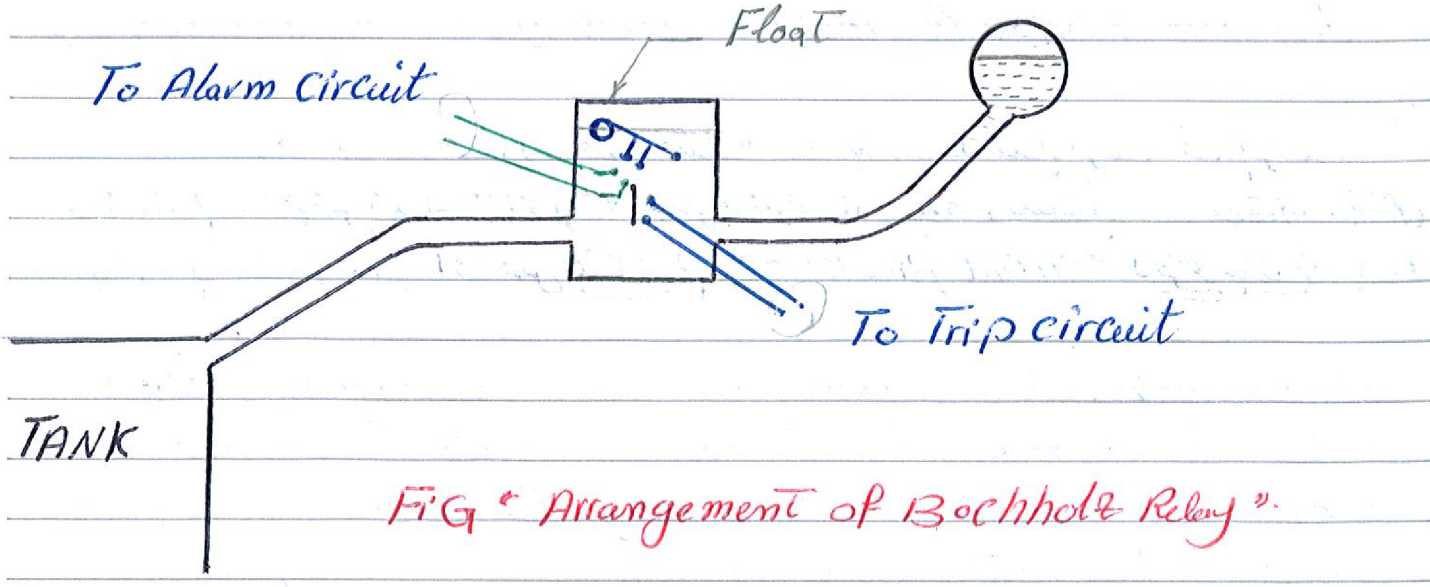


FiG " Arrangement of Bochholz Relay ".

The following Types of faults can be protected by Buchholz relay and are indicated by Alarm

(a) Core bolt insulation Faileure. اتلياء عزل مسمار القلب الحديدي
(b) Local overheating. ارتفاع درجة الحرارة موضعي للزيت
(c) Entrance of air into the oil. دخول الهواء إلى الزيت
(d) Short circuit lamination "core" due to burrs.
(e) Loss of oil due to leakage. ضياع الزيت في التسرب
(F) Any bad contacts will produce over heat and it will take alonej time for the relay to trip.

The following Types of faults will at once Trip the Transformer circuit-Breaker.

(1) Short circuit between the phases.
(2) Winding short circuit.
(3) Bushing punclure.
(4) Earth fault in the winding.

The nominal pipe bore diameter is recommended by "standered" As ① 25 mm For Transformer upto "1000 KVA"
② 50mm For Transformer between "1000 To 10000 KVA
③ 80mm For Transformer above "10,000 KVA"

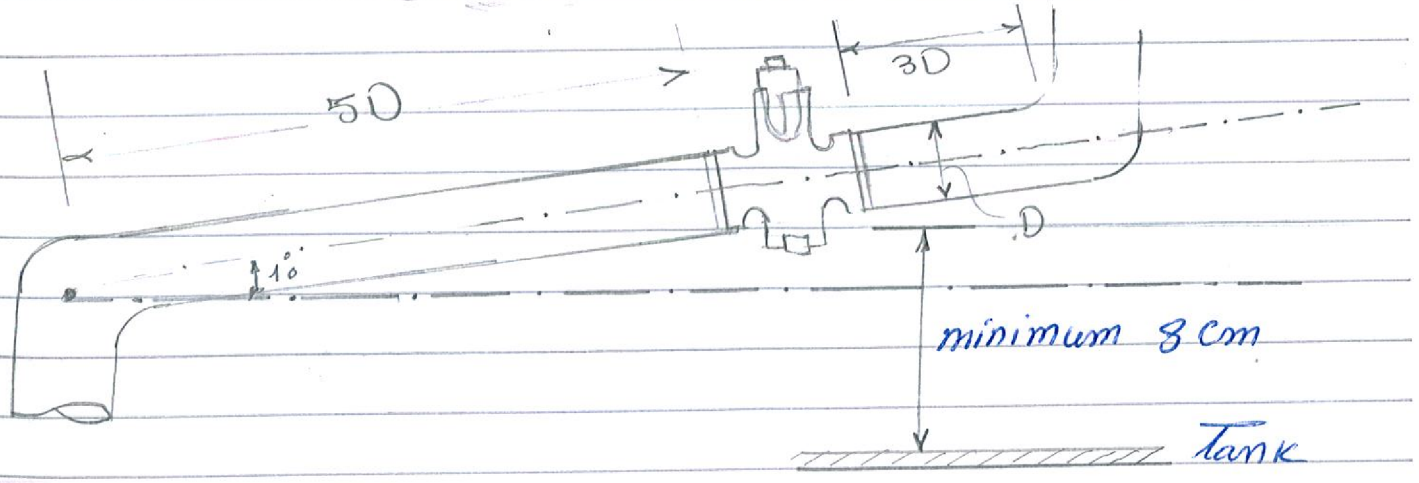


FIG "Installation of Bochholz relay"

Limitation of Bochholz Relay.

Setting The mercury switch cannot be too sensitive otherwise There can be a false operation by "vibration", "earth quakes", mechanical shocks. To the pipe setting of birds etc..

The relay is slow, minimum operating time is "0.1 sec" Average time 0.2 sec such a slow relay is unsatisfactory.

⚠ A seperate Bochholz relay is provided with a top changer to detect the incipient faults in the top-changer, This does not respond to a small arcing.

(Power Transformer inrush current) إعطاء إلى تيار تيار

(1) size of power Transformer

Peaks of inrush ∝ $\frac{1}{\text{rate}}$

(Time) duration ∝ rate

(2) impedance from source To Transformer.

(3) magnetic property of core material

(4) Remanence of core (knee point)

(5) moment of Transformer is switched on.

switching angle (α)